



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

MAIJA LAINE

SÄHKÖNJAKELUVERKON RAIVAUSTEN JA LENTOTARKAS-
TUSTEN ARVIOINTI JA KEHITTÄMINEN

Diplomityö

Tarkastaja: professori Pekka Verho
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta-
neuvoston kokouksessa 3. kesäkuu-
ta 2015

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Sähkötekniikan koulutusohjelma

LAINÉ, MAIJA: Sähkönjakeluverkon raivausten ja lentotarkastusten arviointi ja kehittäminen

Diplomityö, 92 sivua, 8 liitesivua

Lokakuu 2015

Pääaine: Sähköverkot ja -markkinat

Tarkastaja: Professori Pekka Verho

Avainsanat: kunnossapito, raivaus, vierimetsänhoito, lentotarkastus, jakeluverkko

Suomessa sähkömarkkinalain uudistuksen myötä myös toimitusvarmuuskriteerit tiukentuivat ja kaapelointi on useissa paikoissa ollut yksi tärkeimmistä ratkaisukeinoista. Kuitenkin myös ilmajohtoverkon tulee täyttää samat kriteerit, jolloin uusia ratkaisuja tarvitaan vikojen ennaltaehkäisyyn ja korjaamiseen. Kunnossapito on tärkein osa-alue vikojen ennaltaehkäisyssä ja sen menetelmiä pitää pyrkiä kehittämään. Tässä diplomityössä tarkastellaan kunnossapidosta erilaisia raivausmenetelmiä ja lentotarkastuksia. Sähkönjakeluverkonhaltijoiden valvontamalliin on lisätty myös sähkömarkkinalain uudistuksen jälkeen toimitusvarmuuskannustin, jossa yhtenä uutena kunnossapitotoimenpiteenä tuodaan esiin vierimetsänhoito. Tämän vuoksi työssä käydään läpi vierimetsänhoitoa ja erityisesti hoitokohteiden valintaa. Tarkasteluissa pyritään arvioimaan menetelmien käytettävyyttä ja luomaan suunnitelmat missä ja miten näitä tulisi hyödyntää Elenia Oy:n verkkoalueella.

Työssä tarkastellaan taustaksi kunnossapidon ja metsänhoidon peruseriaatteita, joiden pohjalta tehdään tarkempaa menetelmäkohtaista tarkastelua. Työssä haastatteluilla eri sähköverkkoalan ammattilaisilta kerättiin tietoja eri menetelmistä sekä niiden hyödyistä ja haitoista kokemuksiin pohjautuen. Menetelmiä tarkastellaan myös muun muassa keskeytystilastoihin sekä maasto- ja metsäolosuhteisiin pohjautuen.

Lopputuloksena työssä esitetään kehitysehdotukset Elenialle vierimetsänhoitoon ja raivausprosessiin liittyen. Vierimetsänhoitoon on esitetty alueellinen prioriteettijärjestys, jonka mukaisesti hoitotoimenpiteitä on kannattava kohdistaa Elenian verkkoalueella. Operointialueista Keski-Suomi nousi prioriteetissa ensimmäiseksi suuren lumikuormariskin ja puustonsa takia. Työssä myös esitetään useita kriteerejä, joita yhdistelemällä voidaan tarkemmin valita hoidettavat kohteet. Raivausprosessin osalta työssä esitetään helikopterioksinnan jatkamista erityisesti Itä-Hämeessä, sillä alueen korkeassa puustossa tästä on mahdollista saada eniten hyötyä. Raivausprosessin laadunhallinnan parantamiseen on esitetty useita eri vaihtoehtoja, joiden avulla toteutuneen työn seuranta on mahdollista kehittää.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Electrical Engineering

LAINÉ, MAIJA: Evaluation and development of the distribution network vegetation management and flight inspections

Master of Science Thesis, 92 pages, 8 Appendix pages

October 2015

Major: Power Systems and Market

Examiner: Professor Pekka Verho

Keywords: maintenance, vegetation management, adjacent forest maintenance, distribution network, flight inspection, aerial inspection

In Finland after the reform of Electricity Market Act, the security of supply criteria were tightened. Cabling has been one of the most important solutions to reach these criteria in number of places. However, the overhead line network must meet the same criteria, so new solutions are needed for the fault prevention and correction. Maintenance is the most important element of fault prevention and its methods should be developed. Therefore, this thesis examines a range of vegetation clearance methods, adjacent forest maintenance and aerial inspection methods. The review aims to assess the usability of methods and create plans for where and how these should be used in Elenia Oy's network.

This thesis examines the background of the maintenance and forest management principles, which are the basis for more accurate review of different methods. For this thesis there were interviewed different distribution network professionals about the different methods and their advantages and disadvantages based on experience. The methods are also examined based on interruption statistics as well as on their suitability for different forest conditions.

As a result, the thesis shows proposals for developing Elenia's adjacent forest maintenance and vegetation clearance process. To the adjacent forest maintenance there is proposed a regional priority order, which shows where the maintenance actions should be targeted in the Elenia network area. The operational area Central Finland is number one on the priority list because of the high snow load risk and the forests are most suitable for these maintenance actions. The thesis also presents a number of criteria that can be combined and used for destination selection for adjacent forest maintenance. For the vegetation clearance process the thesis is proposing that helicopter sawing should be continued, especially in eastern Häme, because of the area has tall forests and in those it is possible to get the best results. For improving the vegetation clearance process and its quality management there are number of different options presented which can help to develop the work follow-up.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Elenia Oy:lle Strateginen verkon kehitys-tiimiin. Aihetta tälle työlle esitettiin Elenian puolesta vuoden 2014 lopulla ja työ toteutettiin vuoden 2015 aikana. Työn ohjaajana on toiminut Eleniasta DI Pauliina Salovaara, joka toimii kun-nossapitoinsinöörinä Strateginen verkon kehitys-tiimissä ja työn tarkastajana toimi Tampereen teknillisen yliopiston sähkötekniikan laitokselta professori Pekka Verho.

Haluan kiittää Pauliinaa työni ohjaamisesta ja työn aikaisista lukuisista kommenteista, keskusteluista ja kannustuksesta. Lisäksi haluan kiittää koko Strategisen verkon kehi-tyksen-tiimiä, joka kannustanut ja auttanut läpi diplomityöprosessin. Kiitos kuuluu myös kaikille Elenialla, jotka ovat mahdollistaneet diplomityöni tekemisen auttamalla tietojen hankinnassa tai kommentoimalla työtäni.

Tämän työn tarkastajaa professori Pekka Verhoa haluan kiittää työn tarkastamisesta ja useista keskusteluista, joista sai uusia näkökulmia ja ajatuksia diplomityön kehittämi-seen. Suuren kiitoksen ansaitsevat myös kaikki haastattelemanı henkilöt, sillä haastatte-luista saamani tiedot ovat olleet suuressa roolissa työtäni tehdessä.

Viimeisenä haluan kiittää vielä perhettäni, ystäviäni ja erityisesti Rikua, jotka ovat ol-leet tukenani opiskelujeni aikana sekä tätä diplomityötä tehdessä.

Tampereella, 21.09.2015

Maija Laine

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	SÄHKÖNJAKELUJÄRJESTELMÄ JA KUNNOSSAPITO.....	3
2.1	Sähkönjakeluverkon rakenne Suomessa	3
2.2	Kunnossapidon periaatteet	5
2.2.1	Ehkäisevä kunnossapito	6
2.2.2	Korjaava kunnossapito	8
2.3	Kunnossapito Eleniassa	8
3.	METSÄNHOITO.....	11
3.1	Metsien luokittelu.....	11
3.2	Metsätalous Suomessa.....	12
3.3	Metsän kasvatusvaiheet.....	13
4.	SÄHKÖVERKON RAIVAUS	15
4.1	Sähköverkon viat ja niiden yhteys raivauksiin.....	15
4.2	Raivaus ja eri menetelmät	16
4.2.1	Helikopteriraivaus	19
4.2.2	Monitoimikoneraivaus	21
4.2.3	Raivaus metsurityönä.....	23
4.3	Raivausten suunnittelu ja toteutus Eleniassa.....	23
4.4	Raivausprosessin laadunhallinta	25
5.	VIERIMETSÄNHOITO	28
5.1	Vierimetsän riskitekijät	29
5.2	Vierimetsänhoidon edistäminen.....	32
5.2.1	Sähkölinojen vierimetsä -projekti	33
5.2.2	Tuuli- ja lumituhojen ennakointi -projekti.....	35
5.2.3	Toimitusvarmuuskannustin regulaatiomallissa.....	37
5.3	Vierimetsänhoito käytännössä.....	38
5.3.1	Vierimetsänhoito Eleniassa.....	40
5.3.2	Vierimetsänhoito muissa verkkoyhtiöissä	41
6.	SÄHKÖVERKON LENTOTARKASTUKSET.....	46
6.1	Lento- ja ilmatarkastusmenetelmät	46
6.1.1	Tarkastustyö suoraan helikopterista.....	46
6.1.2	Koko verkon kuvaus	48
6.1.3	Miehittämättömät ilma-alukset	49
6.1.4	Satelliitti- ja muut kolmannen osapuolen ilmakuvat.....	51
6.2	Lentotarkastusten hyödyntäminen.....	53
6.2.1	Hyödyntäminen raivaus- ja vierimetsänhoitoprosessissa	53
6.2.2	Hyödyntäminen häiriötilanteissa.....	55
7.	RAIVAUSMENETELMIEN JA VIERIMETSÄNHOIDON SOVELTUVUUS ELENIAAN.....	57

7.1	Keskeytystilastot	58
7.1.1	Vanhat helikopterioksinnat	59
7.1.2	Uudet helikopterioksinnat	61
7.1.3	Monitoimikoneraiivaukset	64
7.1.4	Raivaukset metsurityönä	65
7.1.5	Vierimetsänhoitoon liittyvät tilastot.....	66
7.2	Maasto- ja metsäolosuhteet	68
7.3	Laadulliset näkökohdat	73
7.4	Kustannukset	75
8.	KEHITYSEHDOTUKSET	77
8.1	Vierimetsänhoidon hyödyntäminen Elenialla	77
8.2	Raivausprosessin kehittäminen Elenialla	80
8.2.1	Raivausmenetelmät	80
8.2.2	Raivausprosessin laadunhallinta	81
9.	YHTEENVETO	83
	LÄHTEET.....	85
	LIITE 1: TOTEUTUNEEN OIKAISTUN TULOKSEN LASKENTAPERIAATE	93
	LIITE 2: 110 KV:N ILMAKUVAT	94
	LIITE 3: VANHOJEN HELIKOPTERIOKSINTOJEN LISÄTARKASTELUT	96
	LIITE 4: UUSIEN HELIKOPTERIOKSINTOJEN LISÄTARKASTELUT	97
	LIITE 5: METSURITYÖNÄ TEHTYJEN RAIVAUSTEN VIKATILASTOJEN LISÄTARKASTELUT	98
	LIITE 6: VIERIMETSÄNHOITOPROSESSI.....	99

LYHENTEET JA MERKINNÄT

ACCA	Automaattinen raivausanalyysi, joka syntyi Sähkötutkimuspoolin käynnistämän projektin tuloksena. (<i>Automatic Corridor Clearance Analysis</i>)
AJK	Aikajälleenkytkentä
BVLOS	Suoran näköyhteyden ulkopuolella toiminta miehittämättömistä ilma-aluksista puhuttaessa. (<i>Beyond Visual Line of Sight</i>)
CBM	Kuntotilaan perustuva kunnossapito (<i>Condition Based Maintenance</i>)
ESA	Euroopan avaruusjärjestö (<i>European Space Agency</i>)
JK	Jälleenkytkentä
Kj-	Keskijännite, tässä työssä pääasiassa tarkoitetaan 20 kV jakeluverkkoa. Yleisesti keskijännitteellä tarkoitetaan 1 – 70 kV jakeluverkkoa.
KTM	Kauppa- ja teollisuusministeriö. Lakkautettu vuonna 2008, jolloin tehtävät siirtyivät työ- ja elinkeinoministeriölle.
Pj-	Pienjännite, tässä työssä tarkoitetaan 0,4 kV jännitetasoa.
PJK	Pikajälleenkytkentä
PKS	Pohjois-Karjalan Sähkö Oy
RBM	Luotettavuuteen perustuva kunnossapito (<i>Reliability Based Maintenance</i>)
RCM	Luotettavuuteen pohjautuva kunnossapito (<i>Reliability Centered Maintenance</i>)
RNA	Luotettavuuslaskenta (<i>Reliability-based Network Analysis</i>)
RPAS	Kauko-ohjatun ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmä (<i>Remotely Piloted Aircraft System</i>)
Sener	Sähköenergialiitto ry
ST-pooli	Sähkötutkimuspooli koordinoi, rahoittaa ja edistää sähköverkkoliiketoimintaan, sähkökauppaan, sähkövoimatekniikkaan ja palveluntuotantoon liittyvää tutkimusta Suomessa. Poolin toimintaa koordinoi Energiateollisuus ry.
STV	Sähkötyöturvallisuudenvalvoja
SVV	Savon Voiman Verkko Oy
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
TBM	Aikaan perustuva kunnossapito (<i>Time Based Maintenance</i>)
UAV	Miehittämätön ilma-alus (<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>)
UAS	Miehittämätön ilma-alusjärjestelmä (<i>Unmanned Aerial System / Unmanned Aircraft System</i>)
VLOS	Näköyhteyteen perustuva toiminta miehittämättömistä ilma-aluksista puhuttaessa. (<i>Visual Line Of Sight</i>)
VMI	Valtakunnan metsien monilähdeinventointi. Metsävara-aineisto, jota Metsätutkimuslaitos tuottaa.

1. JOHDANTO

Sähkönjakeluverkkotoiminta on käymässä läpi suuria muutoksia 1.9.2013 uudistuneen sähkömarkkinalain takia. Toimitusvarmuuskriteerien tiukentumisen myötä verkkoa kaapeloidaan nopeaan tahtiin, mutta kaikkialla se ei ole kannattavaa, eikä koko verkkoa voida kaapeloida saman tien resurssien ja kustannuksien puitteissa. Tämän vuoksi myös olemassa olevan ilmajohtoverkon kunnossapitoon tulee edelleen panostaa ja ylläpitää niin, että toimitusvarmuuskriteerit on myös mahdollista täyttää ilmajohtoverkon varrella olevilla asiakkailla.

Ilmajohtoverkko on hyvin altis sään vaikutuksille. Sään ääri-ilmiöt ovat kuitenkin viime vuosina olleet lisääntymään päin ja Ilmatieteenlaitoskin (2012) on todennut, että ilmastomuutos muuttaa voimakkaiden sää-ilmiöiden toistuvuutta ja voimakkuutta. Suomi kuuluu erityisesti riskivyyhykkeelle, jossa esimerkiksi myrskytuulet voimistuvat viileänä vuodenaikana. Sään ääri-ilmiöt ovat myös näkyneet sähköverkkoyhtiöissä kuten Hannu- ja Tapani-myrskyissä vuonna 2011, jotka vaikuttivat myös lainsäädännön kehittymiseen. Myrskytuulet eivät kuitenkaan ole ainoa sähköverkon toimintavarmuutta uhkaava sääilmiö, vaan sellaisia ovat esimerkiksi lumikuormat, joissa johtokadun ulkopuolelta taipuvat puut aiheuttavat häiriöitä. Lumikuormat aiheuttivat useille verkkoyhtiölle lähes kahden viikon ajan ongelmia tammikuussa 2015. Muun muassa näiden sääolosuhteiden vaihteluiden myötä on alettu kiinnittää enemmän huomiota ennakoihiin kunnossapitotoimenpiteisiin, kuten raivauksiin ja vierimetsänhoitoon.

Näiden sääilmiöiden perusteella onkin huomattu vierimetsissä piilevät ongelmat sähkönjakelun kannalta. Uuden lainsäädännön myötä myös sähkönjakeluverkonhaltijoiden valvontamalliin tehtiin lisäyksiä. Yksi tällainen on toimitusvarmuuskannustin, johon on mahdollista sisällyttää vierimetsänhoidosta aiheutuvia kustannuksia. Sähköverkkoyhtiöitä siis kannustetaan toimintaan myös johtokadun ulkopuolella, jossa on lupa kaataa vain sähkönjakelua välittömästi uhkaavat puut. Ulotettaessa toimenpiteitä johtokadun ulkopuolelle täytyy myös maanomistaja huomioida, toisin kuin perinteisissä raivauksissa. Tällöin vierimetsänhoidon suunnittelussa tulee ottaa huomioon maanomistajan tavoitteet ja mahdolliset tuotto-odotukset metsien osalta. Siksi sähköverkkoyhtiöidenkin tulee tuntea paremmin metsänhoitosuosituksset, jotta metsänomistajien tarpeet voidaan ottaa huomioon sähköverkon toimitusvarmuutta parantaessa.

Tämä diplomityö on tehty Elenia Oy:lle. Elenia on sähköverkkoyhtiö, jolla on 415 000 asiakasta yli sadan kunnan alueella Päijät- ja Kanta-Hämeessä, Pirkanmaalla, Keski-Suomessa sekä Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaalla. Markkinaosuudeltaan Elenia kattaa noin 12 % Suomen sähkönjakeluverkkotoiminnasta. Elenia omistaa noin 67 000 km sähkö-

verkkoa, joista vajaa 24 000 km on keskijänniteverkkoa. Työssä erityisenä kiinnostuksen kohteena ovat Elenian keskijännitteiset ilmajohdot, joita keväällä 2015 on hieman vajaa 20 000 km. (Elenia 2015) Tavoitteena Eleniassa on nostaa maakaapelointiaste 70 % vuoteen 2028 mennessä rakentamalla maakaapelilla kaiken uuden sekä saneerattavan sähköverkon. Vuosi 2028 on muutenkin tavoitteellisesti tärkeä vuosi, sillä tällöin kaikilla asiakkailla tulee toimitusvarmuuskriteerit täyttyä. Tämä tarkoittaa sitä, että ilmajohdtoa jää vielä 2028 jälkeenkin tuhansia kilometrejä ja tällöin niiden tulee myös täyttää vaativat toimitusvarmuuskriteerit.

Tässä diplomityössä paneudutaan sähköverkon kunnossapidon raivauksiin, vierimetsänhoitoon ja lentotarkastuksiin, jotta jatkossa voidaan hyödyntää eri menetelmiä paremmin kunnossapidon suunnittelussa ja toteutuksessa. Työssä pyritään arvioimaan ja kehittämään Elenialla käytössä olevia raivausmenetelmiä tarkastelemalla menetelmien hyötyjä ja haittoja, vikatilastoja sekä kustannuksia. Myös tarkastellaan maaston ja metsäisyyden vaikutuksia eri menetelmien käyttöön, jolloin on mahdollista pyrkiä kohdistamaan menetelmiä käyttöön alueellisesti. Vierimetsänhoitoa on Elenialla toteutettu vain pilottikohteina aikaisemmin ja työssä pyritään löytämään Elenialle soveltuva toimintatapa vierimetsänhoitokohteiden valintaan ja projektien toteuttamiseen. Kuten raivausmenetelmienkin kohdalla alueellisten erojen tarkastelulla pyritään löytämään kohteet, joissa vierimetsänhoidosta on eniten hyötyä. Erilaiset lento- ja ilmatarkastusmenetelmät ovat työssä osana, sillä niitä voidaan hyödyntää esimerkiksi raivausten suunnittelussa ja seurannassa. Työssä arvioidaankin nykyisiä käytössä olevia menetelmiä sekä tarkastellaan kehittyviä menetelmiä, joita mahdollisesti voidaan tulevaisuudessa käyttää.

Diplomityön alussa työn toisessa ja kolmannessa luvussa taustoitetaan työhön liittyvää aihepiiriä. Toisessa luvussa perehdytään Suomen sähkönjakelujärjestelmään sekä sen kunnossapitotoimenpiteisiin teorian, suositusten ja Elenian kannalta. Kolmannessa luvussa perehdytään metsätalouteen Suomessa ja metsänhoidollisiin toimenpiteisiin. Syvemmin diplomityön aiheeseen liittyvät luvut neljä ja viisi, joissa käsitellään sähköverkon raivausta ja vierimetsänhoitoa. Sähköverkon raivauksissa käsitellään syitä toimenpiteiden taustalla ja esitellään myöhemmin vertailussa käytettävät menetelmät. Vierimetsänhoidossa puolestaan tarkastellaan määrittelystä lähtien, mitä vierimetsillä tarkoitetaan, minkälaisia hoitoa edistäviä hankkeita vierimetsien parissa on tehty sekä miten muissa verkkoyhtiössä vierimetsänhoito on otettu vastaan.

Työn luvussa kuusi tarkastellaan raivauksia ja vierimetsänhoidon suunnittelua ja seurantaan tukevaa toimenpidettä eli sähköverkon lentotarkastuksia. Lentotarkastuksissa tarkastellaan eri menetelmiä ja niiden kehitystä sekä niiden hyödyntämismahdollisuuksia. Diplomityön kannalta tärkeimmät luvut ovat seitsemän ja kahdeksan, joissa on tarkasteltu eri raivausmenetelmien ja vierimetsänhoidon vaikutuksia ja näiden perusteella tehty suunnitelmat ja kehitysehdotukset siitä missä ja miten eri menetelmiä tulisi hyödyntää Elenian verkkoalueella.

2. SÄHKÖNJAKELUJÄRJESTELMÄ JA KUNNOS- SAPITO

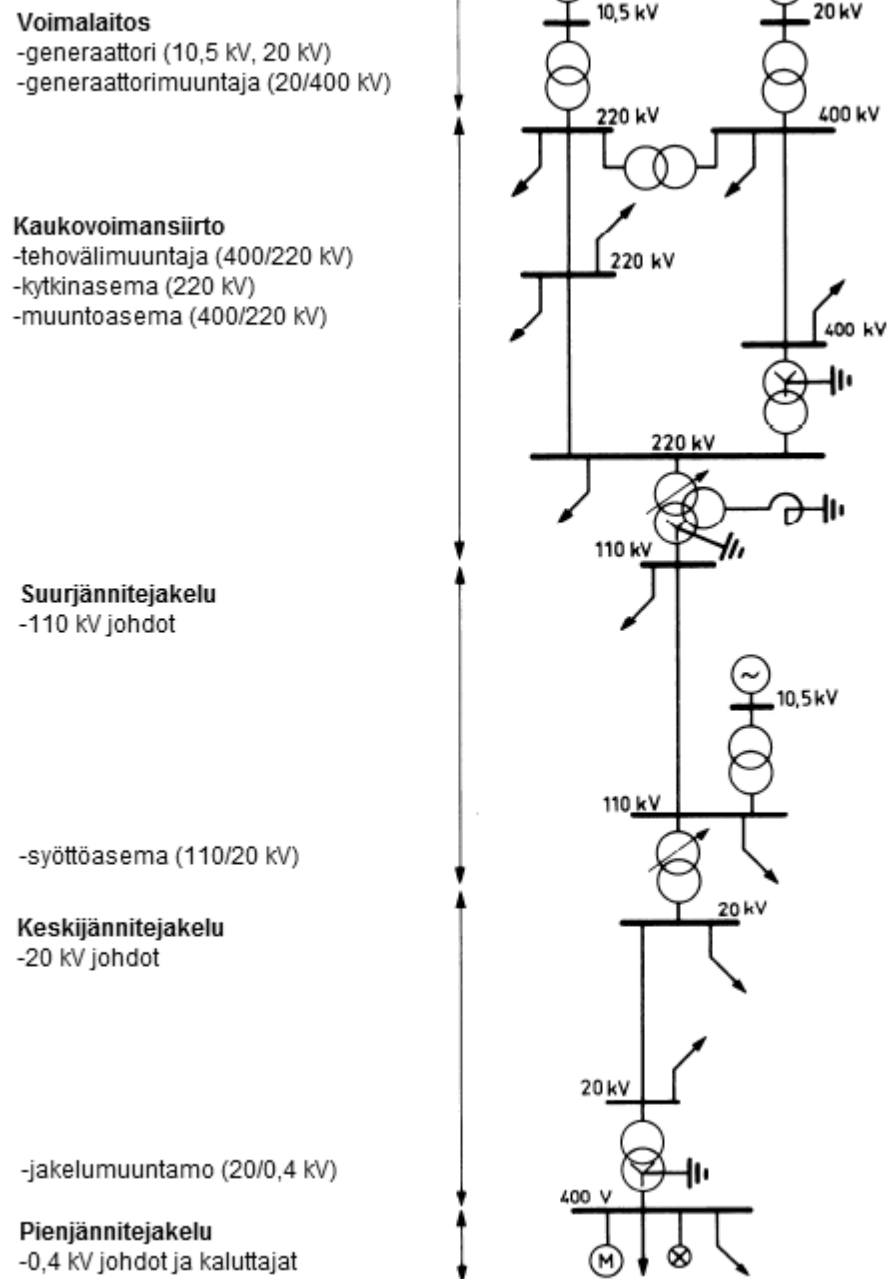
Tässä luvussa käsitellään sähköjakeluverkon rakennetta Suomessa ja erilaisia kunnossapitostrategioita sekä kunnossapitoon liittyvää lainsäädäntöä ja verkostosuosituksia. Lisäksi luvussa käsitellään Elenian kunnossapito-ohjelmaa. Tämän diplomityön kannalta tärkeimpinä kunnossapidon osa-alueina ovat verkon kunnan tarkastaminen ja verkon raivaukset.

2.1 Sähköjakeluverkon rakenne Suomessa

Suomessa sähkövoimajärjestelmä koostuu sähköntuotannosta, -siirrosta ja -jakelusta. Tämä tarkoittaa sitä, että samaan verkkoon on kytketty kaikki tuotannosta aina kulutukseen asti. Sähkövoimajärjestelmä on jaettu eri jännitetasoihin ja yleisrakenne tasojen jakautumisessa aina voimalaitokselta kuluttajalle saakka on esitetty seuraavalla sivulla kuvassa 1. Sähkönsiirrosta jännitetasoina käytetään 400 kV, 220 kV ja 110 kV verkkoja. Sähköjakelussa puolestaan jännitetasot ovat 110 kV, 20 kV ja 0,4 kV. (Elovaara & Haarla 2011a) Näiden yleisesti käytettyjen jännitetasojen lisäksi Suomessa on käytössä useita eri jakelujännitteitä 1 kV – 70 kV välillä. Keskijännitejakelulla tarkoitetaan yleensä 20 kV verkkoa ja pienjännitejakelulla tarkoitetaan alle 0,4 kV verkkoa. (Järventausta 2014) Tässä diplomityössä pääpaino sähköjakelussa ja keskittyy keskijännitteisiin verkon osiin.

Sähköjakeluverkossa tärkein yksittäinen osa on sähköasema, jossa muunnetaan jännitetaso ylemmästä tyypillisesti 110 kV:n tasosta alempaan 20 kV:n tasoon (kuvassa 1 esitetty syöttöasema nimellä). Se toimii jakelukeskuksena, joka määrittelee sijainnillaan ja koollaan muun verkon rakennetta kuten esimerkiksi keskijänniterunkojohtojen pituudet ja verkon varayhteydet. Asemilla sijaitsee myös suurin osa verkon suojareleistyksistä ja automaatiosta. Sähköasemat ovat tyypillisesti Suomessa ilmaeristeisiä kytkinlaitoksia eli ns. ulkokenttiä, mutta taajamissa käytetään myös usein tilansäästö syistä SF₆-kaasueristeisiä kytkinlaitoksia. (Lakervi & Partanen 2009)

Sähköjakeluverkossa perusosia ovat myös jakelumuuntamot, joissa sähköasemien tapaan muunnetaan jännitetasoa useimmiten 20 kV:sta pienjännitteeseen 400 V:n tasoon. Jakelumuuntamoilla huolehditaan jännitetason muuntamisen lisäksi, myös pienjänniteverkon suojauksesta muuntamalla sijaitsevilla sulakkeilla. Ilmajohdoverkossa käytetään pylväsmuuntamoita, mutta taajamissa ja saneeratuissa verkoissa käytetään puistomuuntamoita. (Lakervi & Partanen 2009)



Kuva 1. Periaatekuva Suomen sähkönsiirto- ja sähkönjakeluverkostosta mukailen Sähköverkot I -kirjan kuvaa 1.14. (Elovaara & Haarla 2011a).

Muita tärkeitä osia jakeluverkossa ovat kytkin- sekä suojalaitteet. Kytkeinlaitteilla voidaan muuttaa tarvittaessa verkon topologiaa ja ohjata sähköenergian kulkua verkossa. Tällöin voidaan esimerkiksi erottaa viallinen verkoston osa nopeasti. Tärkeimpiä kytkeinlaitteita verkossa onkin katkaisijat, erottimet, kytkimet ja kuormaerottimet. (Elovaara & Haarla 2011b) Kytkeinlaitteita voidaan käyttää joko käsin- tai kauko-ohjatusti. Kauko-ohjattavilla erottimilla voidaan esimerkiksi lyhentää vioista aiheutuvien keskeytyksien pituutta. (Lakervi & Partanen 2009)

2.2 Kunnossapidon periaatteet

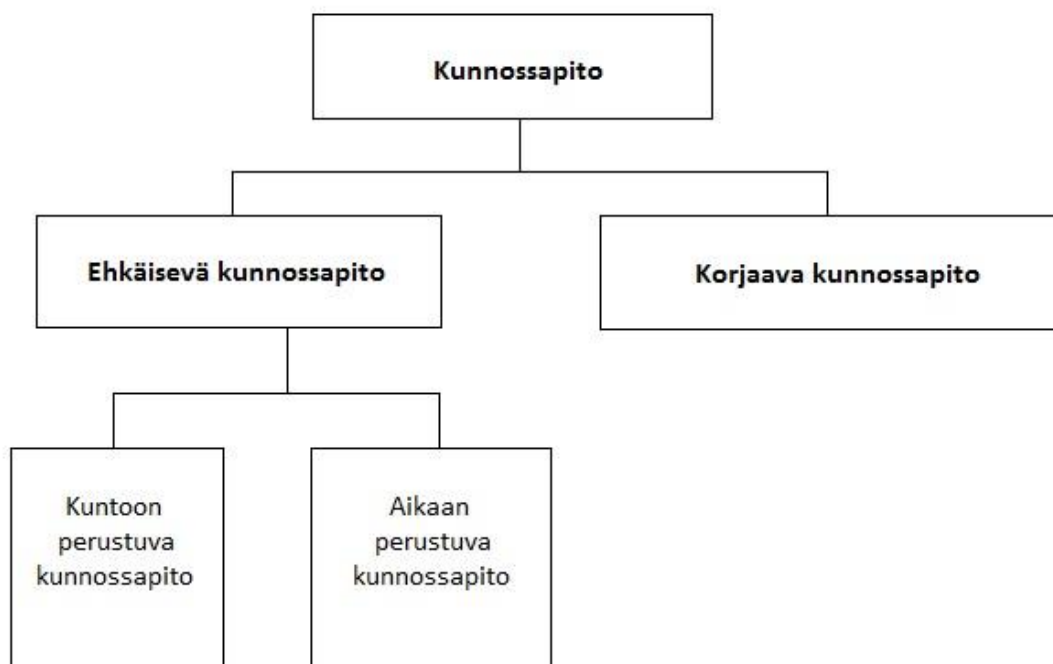
Sähköverkon kunnossapidolla tarkoitetaan sellaista suunniteltua toimintaa, jonka tarkoituksena on pitää rakennettu verkosto ja sen laitteet toimintakuntoisina, niin että pitkällä aikavälillä kustannukset minimoituvat. (Lakervi & Partanen 2009; Verho 2014) Toimintakuntoisuuden lisäksi kunnossapidossa huolehditaan, että kaikki komponentit ovat määräysten mukaisia, turvallisia ja toimintakunnossa. Koska sähköverkkotoiminta on liiketoimintaa, on kustannusten optimointi myös tärkeä osa kunnossapitoa. Liian vähäisellä kunnossapidolla korjaus-, ylläpito- ja keskeytyskustannukset kasvavat merkittävästi, kun taas suuret panostukset kunnossapitoon sitovat yrityksen pääomaa ja kasvattavat verkon käyttökustannuksia. (Lakervi & Partanen 2009)

Sähköturvallisuuslaissa (luku 5, 21 §) määritellään, että ministeriö voi määrätä, että säännöllistä huoltoa vaativien sähkölaitteistoja varten tulee ennalta laatia huolto- ja kunnossapito-ohjelmat. Kauppa- ja teollisuusministeriö onkin tästä tehnyt päätöksen, että *”sähkölaitteiston suoja-, turva- ja vastaavien järjestelmien määrävälein tehtävää huoltoa vaativien laitteiston osia varten on laadittava ennalta huolto- ja kunnossapito-ohjelma”* (KTMp 517/1996). Näiden ohjelmien tulee olla sellaiset, että kun ohjelmia on noudatettu ja tehty näiden vaatimat toimenpiteet, voidaan todeta, että sähkölaitteistolle asetetut turvallisuusvaatimukset toteutuvat. (Verho 2014)

Samassa kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksessä on määritelty, että sähköjakeluverkolle on tehtävä määräaikaistarkastus vähintään 5 vuoden välein. Määräaikaistarkastuksen voi tehdä vain valtuutettu laitos tai tarkastaja ja siinä käydään pistokokein tai muulla soveltuvalla tavalla läpi, että huolto- ja kunnossapito-ohjelman mukaiset toimenpiteet on tehty. Määräaikaistarkastuksilla seurataan, että verkonhaltija on täyttänyt velvoitteensa, joista on aiemman päätöksen muutosasetuksessa kerrottu muun muassa näin: *”Sähkölaitteiston haltijan on huolehdittava siitä, että laitteiston kuntoa ja turvallisuutta tarkkaillaan ja että havaitut puutteet ja viat poistetaan riittävän nopeasti”* (KTMA 335/2004). Koska asetuksessa ei ole määritelty tarkemmin huolto- ja kunnossapito-ohjelmaan sisältyvien kuntotarkastuksien riittävyyttä, on Sähköenergialiitto tehnyt verkostosuosituksen TA 1:97, jossa on esitetty ohjeelliset kuntotarkastuksien enimmäisvälit. Tarkastusten suoritustiheyden tulisi kuitenkin perustua todelliseen tarpeeseen oman verkon erityispiirteet huomioon ottaen. (Sener 1997)

Verkostosuosituksessa on esitetty periaatteet, joiden mukaisesti kuntotarkastukset tulisi suunnitella ja näin ollen ovat myös perustana kunnossapito-ohjelmalle. Suosituksessa myös todetaan, että tarkastuksen suorittajan tulisi pystyä arvioimaan vikojen ja puutteiden vaikutuksia turvallisuuteen. Perinteisesti kuntotarkastukset ovat tehty maasta käsin, mutta verkonhaltijoilla on myös mahdollisuus tehdä niitä ilmasta. (Sener 1997) Tarkastukset ovatkin enenevässä määrin siirtyneet 2000-luvulla ilmatarkastuksiin, sillä kehittyvä tekniikka on mahdollistanut kuntotarkastuksien tarkemman ja monipuolisemman hyödyntämisen.

Lainsäädäntö ja suositukset määrittelevät tarkkaan kuinka kunnossapitoa tulisi seurata, mutta itse kunnossapidon toteuttaminen on verkonhaltijoilla melko vapaissa käsissä. Kunnossapito voidaan toteuttaa useammalla eri strategialla. Yleisesti kunnossapitostrategiat ovat kuitenkin jaoteltu ehkäisevään ja korjaavaan kunnossapitoon, kuten kuvassa 2 on esitetty.



Kuva 2. Kunnossapitostrategiat *Sähkönjakelutekniikka* -kirjan kuvan 9.7. mukaisesti (Lakervi & Partanen 2009).

Usein kunnossapitoa ei voida puhtaasti toteuttaa yhdellä strategialla ja on näin ollen yhdistelmä erilaisista strategioista. Luvuissa 2.2.1 ja 2.2.2 käsitellään kunnossapidon erilaisia strategioita ja niiden käyttöä erilaisissa tilanteissa.

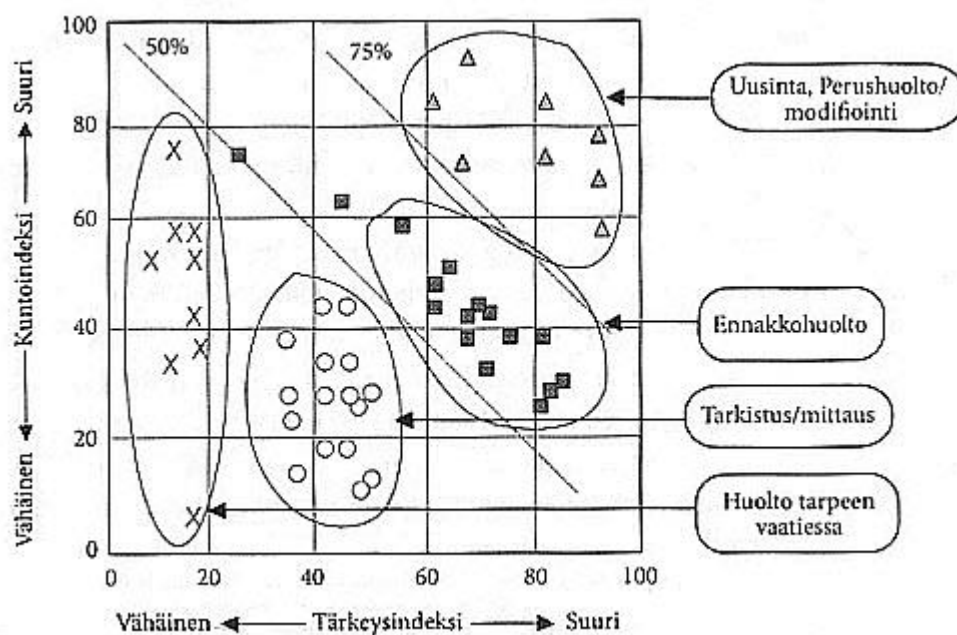
2.2.1 Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevällä kunnossapidolla tarkoitetaan sellaisia kunnossapidontoimenpiteitä, jotka toteutetaan ennen komponentin vikaantumista. Toimenpiteet voivat olla ennalta suunniteltuja, säännöllisesti toistettavia tai vapaamuotoisesti ennen vaurioitumista tehtäviä. (Verho 2014) Ehkäisevän kunnossapidon tärkeimpänä tavoitteena onkin vikaantumisten ehkäiseminen verkostossa. Ehkäisevä kunnossapito voidaan jakaa kahteen alastrategiaan, jotka on kuvattu myös kuvassa 2: kuntoon perustuvaan ja aikaan perustuvaan kunnossapitoon.

Aikaan perustuvassa kunnossapidossa, Time Based Maintenance (TBM), keskeisinä osa-alueina ovat erilaiset tarkastukset, huollot ja laitevaihdot. Nämä ovat yleensä määri-

teltty kunnossapito-ohjelmassa ja perustuvat lakeihin ja asetuksiin, valmistajan suositukseen tai käytöstä saatuihin kokemuksiin. (Verho 2014) Pelkästään aikaan perustuvaa kunnossapitoa ei ole järkevää toteuttaa, sillä liian lyhyillä laitteenvaihtoväleillä voidaan verkosta poistaa täysin toimintakuntoisia laitteita.

Kuntoon perustuvalla kunnossapidolla, Condition Based Maintenance (CBM), voidaan ennakoivat toimenpiteet kohdistaa tarkoituksenmukaisemmin kuin pelkästään aikaan perustuvalla. Kuntotilan mukaisen kunnossapidotoimenpiteitä ovat erilaiset kunnonvalvonta mittaukset, kuten muuntajien öljyanalyysit. Lisäksi tärkeimmillä komponenteilla voidaan kunnonvalvonta toteuttaa lähes reaaliaikaisena kunnonvalvontana. Tarpeiden mukainen kunnossapito voidaan myös toteuttaa luotettavuuspohjaisesti, Reliability Centered Maintenance (RCM), jolloin tarkastelussa otetaan huomioon komponenttien vaikutus koko järjestelmän luotettavuuteen. (Verho 2014) Luotettavuuspohjaisesta kunnossapidosta käytetään myös kirjallisuudessa nimitystä, Reliability Based Maintenance (RBM). (Lakervi & Partanen 2009)



Kuva 3. Luotettavuuteen perustuvan kunnossapitostrategia (Lakervi & Partanen 2009, kuva 9.8.).

Kuvassa 3 on esitetty kuinka luotettavuuteen perustuvaa kunnossapitostrategiaa voidaan käytännössä toteuttaa. Strategiassa otetaan siis huomioon verkostokomponentin todellinen kunto ja sen tärkeys. Kuvan pystyakselilla on kuvattu kuntoindeksi, jossa suuri tarkoittaa huonoa kuntoa ja näin ollen suurempaa kunnostustarvetta. Vaaka-akselilla on kuvattuna tärkeysindeksi, jossa suuri tarkoittaa suurta merkitystä käyttövarmuuteen. Asteikko osoittaa, että esimerkiksi käyttövarmuuteen vähän vaikuttaville komponenteille kannattaa tehdä huoltoa vain tarpeen vaatiessa, jolloin ollaan käytännössä jo korjaavan kunnossapidon puolella. Vastaavasti hieman tärkeämmille komponenteille kannat-

taa tehdä ennakoivasti tarkastuksia ja huoltoa, jottei niiden kunto heikkene tietämättä. (Lakervi & Partanen 2009)

2.2.2 Korjaava kunnossapito

Korjaavaa kunnossapitoa tehdään nimensä mukaisesti vasta komponentin rikkoutumisen jälkeen. Tavoitteena tällöin on saattaa komponentti toimintakuntoiseksi korjaamalla tai vaihtamalla komponentti uuteen. Korjaava kunnossapito on toimiva strategia halvoille ja helposti vaihdettaville komponenteille, jotka eivät rikkoutuessaan aiheuta pitkiä keskeytyksiä. Suunnittelemattomien ja äkillisten korjausten tekeminen nousee usein kustannuksiltaan hyvin korkeiksi muun muassa keskeytyskustannusten ja ylityökorvausten myötä. Tämän takia korjaava kunnossapito ei ole ainoana kunnossapitostrategiana kannattava eikä myöskään vanhenevan verkon kohdalla kestävä, sillä tällöin verkon turvallisuus voi vaarantua. Kuitenkin aina osa verkon kunnossapidosta tulee olemaan korjaavaa kunnossapitoa, sillä kaikkia vikaantumisia ei voida ehkäistä. Tällöin tärkeää onkin oikein mitoitettut materiaalivarastot ja henkilöresurssit. (Lakervi & Partanen 2009; Verho 2014)

2.3 Kunnossapito Eleniassa

Eleniassa kunnossapitoa ohjataan kunnossapitostrategialla ja -ohjelmalla, joista kunnossapito-ohjelma on viranomaisten vaatima, kuten luvussa 2.2 on esitetty. Nämä kunnossapitoa ohjaavat dokumentit sisältyvät Elenian sertifioituihin omaisuudenhallintajärjestelmiin PAS55 ja ISO55001. Omaisuudenhallintajärjestelmien tarkoituksena on määrittää hyvät toimintatavat verkko-omaisuuden hallintaan sekä perustan riskienhallinnalle. (Elenia 2014a) Kunnossapito on osa Elenian verkonhallintaprosessia, joka vastaa yhdessä kunnossapidon suunnittelijan kanssa kunnossapitostrategian sekä -ohjelman päivittämisestä. Kunnossapito-ohjelman mukaisten tarvittavien toimenpiteiden määrittely, suunnittelu sekä toimenpiteiden tuloksien analysointi ovat kunnossapidon suunnittelijan vastuulla. Kunnossapidon suunnittelu on kuitenkin jaettu jakeluverkon ja suurjännitteisen jakeluverkon osilta eri tiimeihin. (Elenia 2014c) Diplomityössä pääasiassa käsitellään vain keskijännitteistä jakeluverkkoa, mutta tässä yhteydessä tuodaan ilmi myös suurjännitteisen jakeluverkon ja pienjänniteverkon raivauksiin ja tarkastuksiin liittyvien kunnossapitotoimenpiteiden ajoitukset.

Verkostosuosituksissa on annettu ohjeelliset enimmäisvälit kuntotarkastuksille, jotka ovat kuitenkin vapaasti sovellettaessa. (Sener 1997) Taulukossa 1 on esitetty muutamia tarkastuksiin ja raivauksiin liittyviä toimenpiteitä ja esitetty verkostosuosituksen mukaiset sekä Elenian kunnossapito-ohjelman mukaiset toteutusaikavälit. Taulukossa ei kuitenkaan ole käyty läpi kaikkia kunnossapito-ohjelmassa määriteltyjä toimenpiteitä, vaan ainoastaan diplomityön näkökannalta oleelliset. Taulukosta huomataan, että kunnossapito-ohjelma ei suoraan noudata verkostosuosituksia vaan niitä on muokattu

Elenian verkkoalueelle soveltuviksi. Useassa toimenpiteessä kiertoa määrittelee ilmakuvausena tehtävä kuntotarkastus, jota hyödynnetään myös muissa osa-alueissa kuin pelkässä tarkastuksessa. Esimerkkinä tästä on myös taulukossa esitetty kj-verkon raivaukset, jotka voidaan kuvien perusteella toteuttaa tarveperusteisesti.

Taulukko 1. Verkostosuositus TA 1:97 ja Elenian kunnossapito-ohjelman osittainen vertailu (Sener 1997, Elenia 2014c).

Toimenpide	Suositus	Elenian kunnossapito-ohjelma
KJ-ilmajohtojen tarkastus	6 vuoden välein	4 vuoden välein
PJ-ilmajohtojen tarkastus	6 vuoden välein	8 vuoden välein
Alueverkon tarkastus	3 vuoden välein	2 vuoden välein, joka toinen ilmakuvaus, joka toinen kävelen
Pylväsmuuntamoiden tarkastus	6 vuoden välein	4 vuoden välein
Puistomuuntamoiden tarkastus	6 vuoden välein	6 vuoden välein
Pylväiden lahotarkastus	25–30 vuoden ikäisille + uudelleen 5-10 vuoden välein	40 vuoden ikäisille, kerran elin-iän aikana
Erityiskohdetarkastus	ei määritetty	vuoden välein
KJ-verkon raivaukset	ei määritetty	tarveperusteisesti, 4 vuoden välein tehtävän ilmakuvaus perusteella
PJ-verkon raivaukset	ei määritetty	8 vuoden välein
Alueverkon raivaukset	ei määritetty	6 vuoden välein tai tarveperusteisesti, perustuen ilmakuvaukseen

Taulukossa on esitetty myös muista kuntotarkastuksista poikkeava erityiskohdetarkastus. Verkostosuosituksessa on määritetty, että kuntotarkastusten tiheys riippuu muun muassa ” - - mahdollisen vian syntymiseen ja sen aiheuttaman vaaran suuruuteen vaikuttavista olosuhteista sekä vaara-alueen laajuudesta.” Esimerkkinä suosituksessa on esitetty paikat, joissa liikkuu paljon ihmisiä. (Sener 1997) Elenian kunnossapito-ohjelmassa onkin määritetty erikseen kohteet, joissa tehdään erityiskohdetarkastukset vuoden välein. Näillä turvallisuustarkastuksilla varmistetaan, että sähkölaitteistot ovat ihmisille ja ympäristölleen turvallisia ja niissä kiinnitetäänkin erityistä huomiota muun muassa varoituskilpiin ja turvaetäisyyksiin. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi koulu-alueet ja liikenneasemat. (Elenia 2014c)

Sähköverkon raivauskiertoihin ei ole olemassa suosituksia ja aiemmin esitelty verkostosuositus ”Verkonhaltijan toimesta tehtävät sekä omat käyttöönottotarkastukset” (TA 1:97) käsittelee nimenomaan verkossa tehtäviin tarkastuksiin. Puolestaan verkostosuosituksessa ”Ilmajohtojen johtoalueet” (RJ 21:92) tarkastellaan johtoalueiden leveyksiä eikä oteta kantaa raivausten ajoitukseen. Verkostosuositusta RJ 21:92 käsitellään tarkemmin raivausten yhteydessä luvussa 4. Verkko-yhtiöt ovatkin voineet siis määritellä raivauskierron pituuden parhaaksi näkemällään tavalla, yleensä perustuen kokemuksiin oman verkkoalueen kasvuolosuhteista. Ilmakuvausten avulla Eleniassa onkin voitu tehostaa toimintaa siirtymällä tarveperusteiseen raivaukseen.

Elenian kunnossapito-ohjelmassa otetaan myös kantaa töitä tekevien henkilöiden ammattitaitoon sekä turvallisuustoimenpiteisiin. Ohjelmassa on määritelty muun muassa se, että kunnossapitotöissä tulee noudattaa TUKES-S10 standardeja sekä tilaajan määrittelemiä työohjeita. Lisäksi ympäristövaikutukset ovat huomioitu kunnossapidossa. Esimerkiksi ennen uusien työtapojen käyttöönottoa niiden ympäristövaikutukset tulee arvioida. (Elenia 2014c)

3. METSÄNHOITO

Metsät ovat olleet pitkään Suomessa tärkeä osa elinkeinoelämää eikä se ole mikään ihme, sillä 86 % Suomen maapinta-alasta on metsien tai metsätalouteen luokiteltujen alueiden peitossa (Metsäkeskus 2014a). Tässä luvussa tarkastellaan Suomessa sijaitsevia erilaisia metsämaita sekä kuinka niitä tulisi suositusten ja lakien perusteella hoitaa. Tarkempia verkkoalueen metsäisyystietoja tarkastellaan luvussa 7. Metsänhoito on tämän työn kannalta hyvin olennainen osa, sillä 59,9 % Suomen keskijännitteisistä sähkölinjoista sijaitsee metsätaloudenmaalla (Tapio 2013a). Sähköverkon kunnossapidon kannalta se tarkoittaa, että hieman yli puolella Suomen keskijännitteisestä ilmajohtoverkosta on todennäköisesti tarvetta raivauksiin elinkaarensa aikana ja mahdollisesti myös tarvetta vierimetsänhoitoon.

3.1 Metsien luokittelu

Pohjoismainen metsätalousluokitus jaottelee metsätalousmaat neljään eri luokkaan, jotka ovat metsämaa, kitumaa, joutomaa ja muu metsätalousmaa. Tämä luokittelu perustuu puuntuotoskykyyn, joka yleensä ilmoitetaan kuutiometreissä hehtaaria kohden. Metsämaalla tarkoitetaan klassista tulkintaa metsästä eli aluetta, jolla voidaan harjoittaa tavanomaista metsätaloutta. Kitumaalla puuntuotoskyky jää huomattavasti metsämaasta ja tällaisia alueita ovatkin esimerkiksi Pohjois-Suomen karut suot. Joutomaat jäävät lähes kokonaan puuntuotannon ulkopuolelle, sillä näillä alueilla kasvaa vain yksittäisiä puita, kuten esimerkiksi avosoilla. Muilla metsätalouden mailla tarkoitetaan esimerkiksi metsäautoteitä, jotka ovat olennainen osa metsänhoitoa, mutta eivät ole osana puun tuotantoa. (Metsäkeskus 2014a)

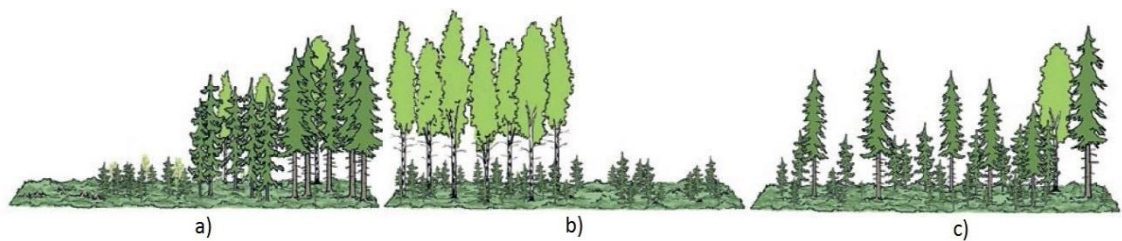
Luokittelu voidaan tehdä myös erilaisin perustein pohjautuen esimerkiksi maapohjan laatuun tai pääpuulajiin. Kuitenkaan nämä metsätalousmaiden yleiset luokittelut eivät yksin riitä kertomaan metsän olosuhteista riittävästi, joten metsiä jaotellaan myös kasvupaikkatyyppin perusteella. Kasvupaikkatyyppejä ovat esimerkiksi karukkokangas, tuore kangas ja lehto. Myös maantieteellinen jaottelu, varsinkin Suomen kokoisessa maassa, on merkittävä osa metsätyyppin muodostumisessa. Metsätyyppi kuvaa jo melko tarkkaan maapohjan puuntuottoa, koska se ottaa huomioon kasvupaikkatyyppin sekä ilmaston. Esimerkiksi puolukkatyyppi on metsätyyppi, joka löytyy Etelä-Suomen kuivahkoilta kankailta. (Metsäkeskus 2014a)

3.2 Metsätalous Suomessa

Metsien hoitoa ja käyttöä Suomessa ohjataan lainsäädännön tasolta metsälaila, joka uudistui vuoden 2014 alussa. Metsätalouteen vaikuttavat myös vesilaki, maankäyttölaki sekä luonnonsuojelulaki. Näillä pyritään Suomessa kestäväan metsätalouteen, jossa huomioon otetaan taloudellisten asioiden lisäksi ekologiset ja sosiaaliset lähtökohdat. (Metsäkeskus 2014a) Lait eivät kuitenkaan määrää metsänomistajaa hakkaamaan tai hoitamaan metsää. Omistajat ovat kuitenkin velvoitettuja uudistamaan metsän päätehakkuiden jälkeen, muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta. Kuitenkin useimmiten metsänomistamisen lähtökohtana on taloudellinen hyöty. (Metsälehti 2013; Metsälaki 12.12.1996/1093 5a §)

Metsänomistajan tavoitteet määrittelevät metsän käsittelyyn soveltuvat vaihtoehdot ja kuinka näitä sovelletaan oman metsätilan metsikkökuvioilla. Metsikkökuvioilla tarkoitetaan puuston kehitysvaiheelta ja käsittelyhistorialta yhtenäistä metsän osaa. Tavoitteiden ja menetelmien määrittelemisellä luodaan pohja suunnitelmalliselle metsän käytölle. (Äijälä et al. 2014) Metsänomistajille suositellaankin ajantasaisen metsäsuunnitelman hankintaa, jossa esitetään muun muassa metsätalalle toimenpide-ehdotukset seuraavaksi kymmeneksi vuodeksi. Metsäsuunnitelmia laatii useat metsäalan ammattilaiset, kuten metsänhoitoyhdistykset. (Metsälehti 2013)

Kasvatustavan valinta on yksi keskeisimmistä metsänomistajan päätöksistä, johon vahvasti vaikuttaa myös puuston nykyinen rakenne. Kuvassa 4 on esitetty kolme yleistä kasvatusmenetelmää. Tasaikäsrakenteessa koko metsä on samassa kehitysvaiheessa ja elinkaaren aikana voidaan huomata neljä erilaista kehitysvaihetta: uudistus, taimikko, nuori kasvatusmetsikkö ja varttunut kasvatusmetsikkö. Tasaikäisessä metsässä uudistus voidaan tehdä viljelemällä tai luontaisesti siemenpuiden avulla.



Kuva 4. Metsän kasvatustapoja: a) Tasaikäsrakenteinen metsä eri kehitysvaiheissa b) Kaksijakoinen sekametsä eri vaiheissa c) Eri-ikäsrakenteinen metsä (Äijälä et al. 2014).

Kaksijakoisessa sekametsässä, joka on tasaikäsrakenteisen kasvatustavan yksi erikoismuoto, hyödynnetään kahta puujaksoa, jotka kasvavat eri latvuserroksissa. Näissä hoito ja hakkuutyöt toimivat alemman kerroksen hyväksi ja ne voivat muodostua itsestään tai viljeltyinä. Kuvan 4 kohdassa c) on esitetty eri-ikäsrakenteinen metsä, jossa ei tasaikäisen metsikön tavoin ole lainkaan peitteetöntä aikaa vaan metsän uudistuminen perustuu luontaiseen taimettumiseen. (Äijälä et al. 2014)

3.3 Metsän kasvatusvaiheet

Suomessa talousmetsissä vallitsevana menetelmänä on ollut tasaikäisrakenteinen kasvatusta ja siitä onkin huomattavasti kokemusta sekä hyvin tutkitut hoito- ja hakkuumenetelmät. Eri-ikäisrakenteisista metsistä ei ole vielä pitkän aikavälin kokemuksia, sen ollessa vielä verrattain uusi menetelmä ja melko vähän käytetty. (Metsäkeskus 2014b) Siksi työssä käsitellään tarkemmin vain tasaikäisrakenteisen metsänhoitoa eri kehitysvaiheissa.

Metsän uudistaminen on lähtökohtana tasaikäisrakenteiselle kasvatukselle. Uudistus tulee toteuttaa silloin, kun metsänomistaja saa enemmän hyötyä uudistamisesta kuin kasvattamisen jatkamisesta. Hyödyt voivat kuitenkin olla metsänomistajasta riippuen hyvin erilaisia. Toiselle se on puunmyyntitulot, toinen painottaa enemmän luonnon monimuotoisuuden ylläpitoa. Kuten aiemmin on jo mainittu, metsänomistajilla on päätehakuiden jälkeen uudistamisvelvoite. Uudistuksen tavoitteena on saada aikaan uusi kasvava metsikkö kasvupaikalle soveltuvilla puulajeilla. Tämä myös tulee toteuttaa mahdollisimman nopeasti ja metsänomistajan kannalta kustannustehokkaasti. Uudistusmenetelmistä istutus koetaan riskittömimmäksi vaihtoehdoksi, mutta se on menetelmistä kallein. Tämän vuoksi karummilla metsämailla se on investointina melko kannattamaton, jolloin mieluummin käytetään uudistuksessa kylvämistä. Vaikka kylvö on halvempaa kuin istutus, se ei aina sovellu viljaville maille kilpailevan pintakasvillisuuden takia. Luontainen uudistaminen on menetelmänä hyvin kustannustehokas, mutta sen riskit ovat huomattavasti suuremmat ja taimikon syntyminen kestää usein kauemmin kuin viljelemällä uudistettuna. Sitä kuitenkin hyödynnetään esimerkiksi karuilla kankeilla, joissa on hyvälaatuista männikköä. Uudistaminen tuleekin suunnitella kokonaisuutena etukäteen ottaen huomioon metsäkuvion ominaisuudet, sillä kerralla onnistunut uudistaminen tuottaa varmimmin terveen taimikon. (Äijälä et al. 2014)

Taimikkovaihe on kriittisin vaihe uudistumisen onnistumisen ja investointien kannattavuuden kannalta. Taimikonhoito voidaan jakaa kahteen osaan: varhaishoitoon ja varttuneen taimikon käsittelyyn. Varhaishoidossa pyritään turvaamaan taimille lähtö hyvään kasvuun. Toimenpiteinä voidaan tilanteesta riippuen tehdä täydennysistutusta, heinän- torjuntaa tai taimikon varhaisperkausta. Näillä toimilla varmistetaan taimikon soveltuva tiheys sekä varmistetaan riittävä valon ja ravinteiden saanti. Taimikon saavutettua yli 1,3 m keskipituuden, sitä kutsutaan varttuneeksi taimikoksi. Taimikonharvennuksella pyritään parantamaan jäljelle jäävän taimikon laatua, sillä se tuo lisää kasvutilaa, joka edistää puiden järeytymistä. Tällöin yksittäiset puut pysyvät terveimpinä ja kestävät paremmin lumen ja tuulen rasituksia. Taimikonharvennuksessa puusto pyritään harvennamaan tiheydeltään tasaiseksi, mutta ensisijaisesti poistetaan huonolaatuiset puut. (Äijälä et al. 2014)

Taimikon kasvaessa yli 7-9 metrin, riippuen puulajista, saavuttaa se nuoren kasvatusmetsikön vaiheen. Tärkein hoidollinen toimenpide on ensiharvennus, mutta esimerkiksi

lannoitusta ja pystykarsintaa voidaan myös tehdä. Ensiharvennuksella vaikutetaan huomattavasti puuston kehitykseen ja sen arvokasvuun. (Äijälä et al. 2014) Ensiharvennus on uudistuksen jälkeen ensimmäinen myyntikuntoista puuta antava hakkuu. Kuitenkin jos taimikonhoitoa ei ole tehty, eivät puut ole ehtineet järeytyä ja tällöin korjattava puu ei kelpaa vielä jalostettavaksi. Tällöin korjuukustannuksetkin ovat korkeammat kuin hoidetussa metsässä. (Metsäkeskus 2014b) Tällöin ensiharvennus on tehtävä normaalia aikaisemmin puuston kasvun turvaamiseksi. Ensiharvennusta ei hoidetussakaan metsässä sovi jättää liian myöhäiseksi, koska tällöin puut altistuvat ilmastollisille tuhoille latvuston supistuessa liikaa. (Äijälä et al. 2014)

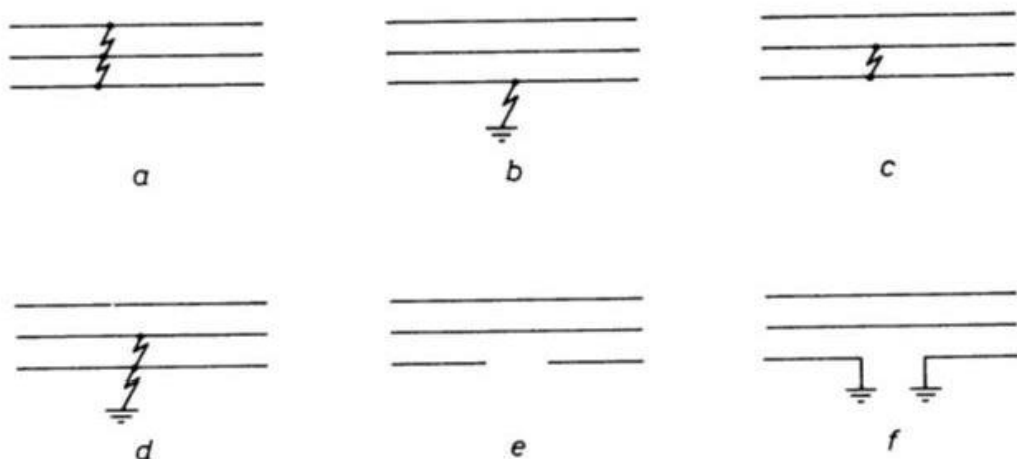
Puuston ylittäessä noin 30 vuoden iän sitä kutsutaan varttuneeksi kasvatusmetsiköksi. Tässä vaiheessa hoitotoimet ovat hyvin joustavia ja ne riippuvat huomattavasti metsänomistajan tavoitteista sekä kasvatettavan metsikön puulajeista. Tasaikäisrakenteiselle metsikölle löytyy olemassa olevia harvennusmalleja, joilla kokemusten perusteella päästään hyvään taloudelliseen lopputulokseen. Muun muassa metsänhoitosuosituksissa on esitetty useita erilaisia harvennusmalleja Suomen olosuhteisiin. (Äijälä et al. 2014)

4. SÄHKÖVERKON RAIVAUS

Sähkönjakeluverkon raivaus on osa verkon kunnossapitoa. Tässä luvussa käsitellään erilaisia verkon raivausmenetelmiä, niiden ominaisuuksia ja erityispiirteitä, joita käytössä tulee ottaa huomioon. Luvussa käydään läpi myös Elenialla tehtävien raivausten nykytila ja kuinka raivausten laadunhallinta on toteutettu ja mitkä ovat sen haasteet. Sähköverkon raivauksella tarkoitetaan avojohtoverkon johtokadun alustan raivaamista puhtaaksi puista ja pensaikoista sekä johtokadun reunassa sijaitsevien puiden oksintaa, niin että oksat eivät pääse kasvamaan liian lähelle linjaa. Johtokadun ulkopuolelle ulottuvia toimia käsitellään erikseen luvussa 5.

4.1 Sähköverkon viat ja niiden yhteys raivauksiin

Sähköverkon raivaus on olennainen osa vikojen ennaltaehkäisyssä, sillä esimerkiksi yli puolet vuoden 2013 keskeytyksistä oli ilmastollisten olosuhteiden aiheuttamia. (Energiatieto 2014a) Tuuli ja myrsky sekä lumi- ja jääkuormat usein aiheuttavat puiden ja niiden oksien taipumista tai kaatumista avojohdoille. Kaikki vikoja ei voida raivauksella estää, mutta sillä voidaan vähentää tilanteita, joissa esimerkiksi puun oksat taipuvat tuulen tai lumikuorman myötä linjaan kiinni. Keskijänniteverkossa esiintyy useita erilaisia vikoja, jotka voivat syntyä ilmastollisten syiden takia. Kuvassa 5 on esitetty esimerkkejä yleisimmistä maasulku- ja oikosulkuilanteista. Maasulut voivat olla yksi- sekä kaksivaiheisia ja oikosulut puolestaan kaksi- tai kolmivaiheisia.



Kuva 5. Verkon vikatyypit: a) kolmivaiheinen oikosulku, b) yksivaiheinen maasulku, c) kaksivaiheinen oikosulku, d) kaksivaiheinen oikosulku maakosketuksella, e) johdinkatkeama, f) johdinkatkeama maakosketuksella (Lakervi & Holmes 1995).

Lisäksi viat voivat olla myös yhdistelmiä eri tyypeistä, kuten kuvan 5 kohta d) kaksi-vaiheinen oikosulku maakosketuksella. Kuvassa 5 on myös esitetty e)- ja f)- kohdissa vikatilanteet, jotka voivat syntyä johtimen katketessa. (Lakervi & Holmes 1995) Yleisesti voidaan oiko- ja maasulut erotella niin, että oikosulut tapahtuvat vaiheiden välillä ja maasuluissa vikavirtapiirissä on mukana myös maa (Elovaara & Haarla 2011a).

Oikosulut voivat jakeluverkossa syntyä eristysvian tai ulkoisen kosketuksen takia, jolloin virtapiiri sulkeutuu suoraan, valokaaren tai muun vikaimpedanssin kautta. Oikosululle tyypillistä on, että sen virta on suurempi kuin kuormitusvirta. Tällöin se voi aiheuttaa johdoille ja muille verkon laitteille lämpenemävaurioita. Vaurioita pyritään estämään oikosulkusuojauksen avulla, johon Suomessa yleensä käytetään vakioaikaylivirtareleitä. (Lakervi & Partanen 2009)

Vaihejohtimen valokaari tai kosketus suojamaadoitettuun osaan aiheuttaa usein maasulun. Niiden ominaisuuksiin ja erityisesti niistä syntyvien ylijännitteiden suuruuteen vaikuttaa huomattavasti keskijänniteverkossa käytettävä maadoitustapa. Tämän perusteella sähkönjakeluverkot voidaan jakaa maasta erotettuihin, sammutettuihin ja maadoitettuihin verkkoihin. Sammutetulla verkolla tarkoitetaan sellaista verkkoa, jossa muuntajan tähtipisteen ja maan välille on kytketty sammutuskuristin, joka kompensoi lähes kokonaan maakapasitanssien kautta kulkevan kapasitiivisen maasulkuvirran. (Nousiainen 2011) Suomessa yleensä käytetään keskijänniteverkossa joko tähtipisteestään maasta erotettua tai sammutettua verkkoa, sillä huonoista maadoitusolosuhteista johtuen maadoitetuissa verkoissa syntyy maasulkutilanteessa vikapaikkaan ja sen ympäristöön vaaraa aiheuttavia kosketusjännitteitä. Maasta erotetussa verkossa maasulkuvirrat ovat huomattavasti pienempiä kuin kuormitusvirrat. Keskijännitteisessä avojohtoverkossa maasulkuvirta on keskimäärin 0,067 A/km. Sammutetulla verkolla voidaan puolestaan pienentää maasulkuvirtaa niin paljon, että se parantaa valokaarimaasulun mahdollisuuksia sammua itsestään eikä katkoa aiheuttavaa jälleenkytkentää välttämättä tarvita. (Lakervi & Partanen 2009) Oikosulut ja maadoitetun verkon maasulut puolestaan vaativat vikaantuneen komponentin irrottamista verkosta, josta aiheutuu vähintään pikajälleenkytkentä (Elovaara & Haarla 2011b).

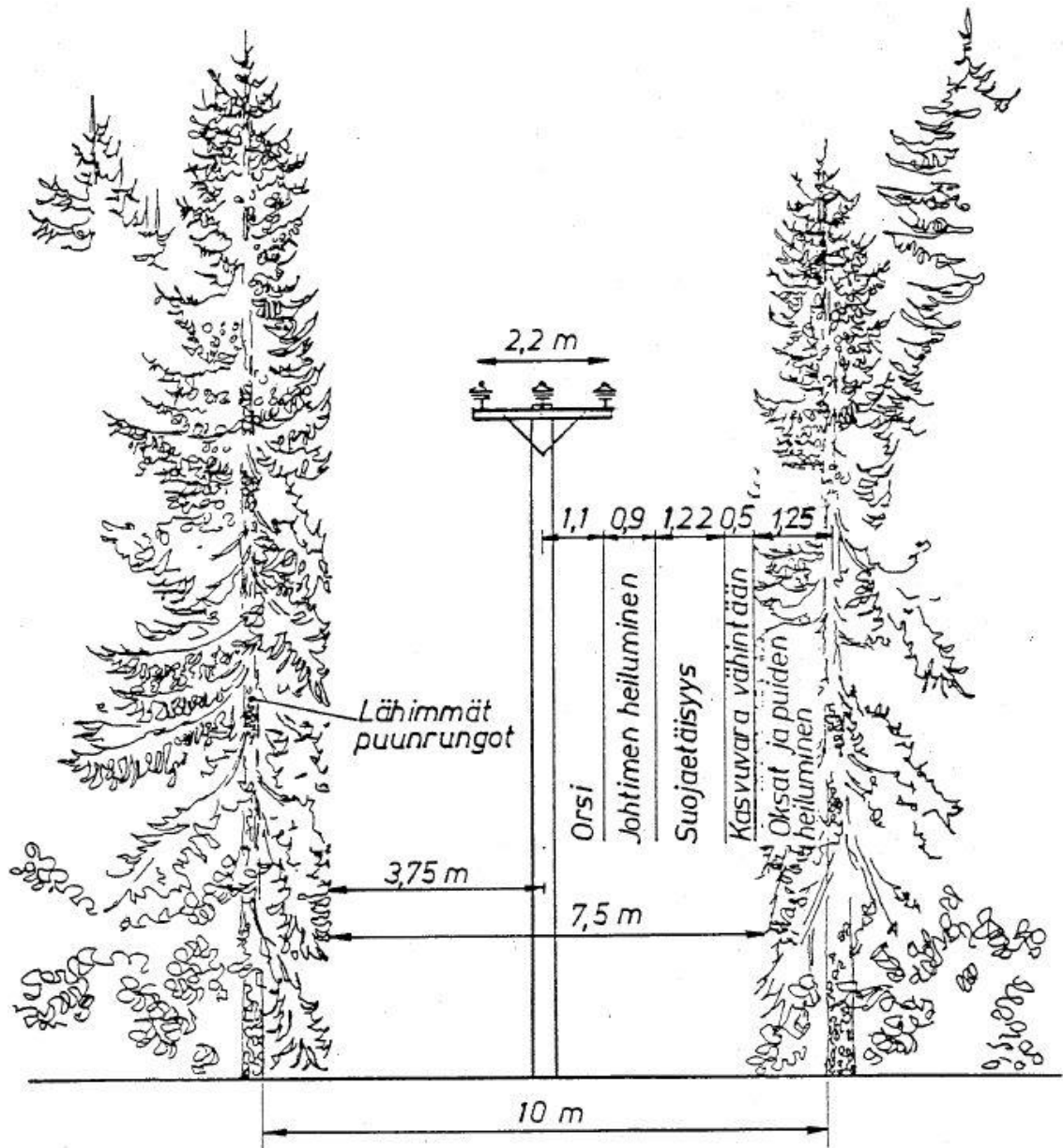
Sekä oikosulut että maasulut voivat aiheutua johtokadun ympärillä sijaitsevasta kasvustosta. Mahdollisia oikosulun aiheuttajia voivat olla esimerkiksi linjalle putoavat oksat, jotka voivat aiheuttaa 2- tai 3- vaiheisia oikosulkuja. Tällöin oksa toimii vaiheiden välillä vikaimpedanssina. Maasulku voi puolestaan syntyä esimerkiksi puun nojatessa johtimeen. Koska erilaisista vioista voi aiheutua vaaraa ja haittaa sekä verkolle että ihmisille, on raivauksilla tärkeä rooli vikojen ennaltaehkäisyssä.

4.2 Raivaus ja eri menetelmät

Sähköverkon raivauksessa on käytössä muutamia eri menetelmiä, joista tässä diplomityössä tullaan käsittelemään kolmea erilaista. Nämä kolme menetelmää ovat helikopteri-

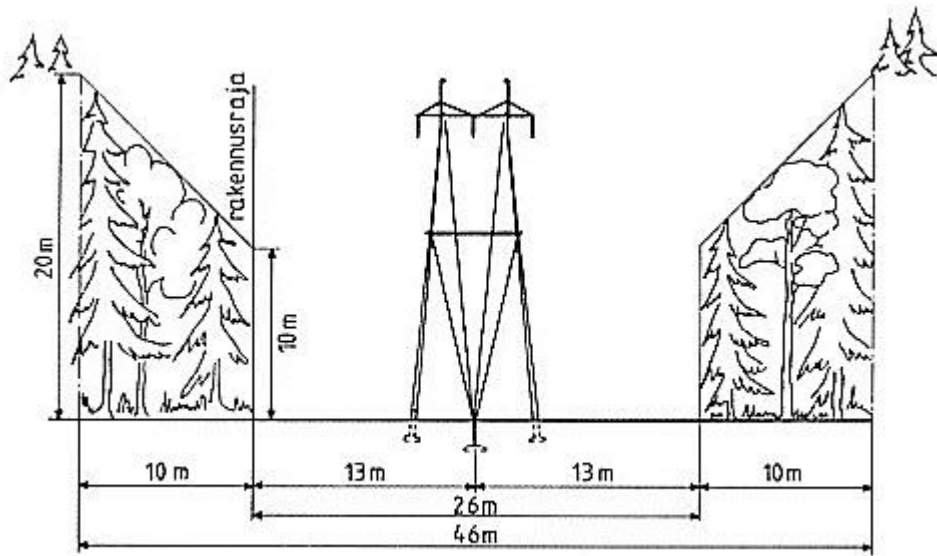
raivaus, monitoimikoneraivaus sekä raivaus metsurityönä. Näiden soveltuvuutta eri tilanteisiin käsitellään menetelmäkohtaisissa alaluvuissa, mutta raivausten peruseriaatteen on esitelty ensin, sillä ne ovat samat riippumatta menetelmästä.

Aluetta, jossa ilmajohdot kulkevat kutsutaan johtokaduksi tai johtoalueeksi. Tälle alueelle on verkkoa rakennettaessa tehty verkkoyhtiön ja maanomistajan välille maankäyttösopimus. Tällöin maanomistaja on saanut soveltuvan korvauksen linjasta aiheutuvasta haitasta ja luovuttanut johdon omistajalle oikeuksia muun muassa kunnossapitoon ja käyttötoimintaan liittyen. (Energiateollisuus 2014b) Yleensä maankäyttösopimus on tehty yhteisymmärryksessä, mutta mikäli sopuun ei ole päästy on johdon rakentaja voinut hakea pakkomenettelyä, jolloin asian ratkaisu on siirtynyt kunnalle. (MTK 2015) Johtoalueen koko riippuu kyseisen johdon jännitetasosta ja sen rakenteesta. Ilmajohdojen johtoalueista on tehty verkostosuositus RJ 21:92 (Ilmajohdojen johtoalueet), joka mainittiin jo luvussa 2.3. Verkostosuosituksessa on esitetty vähimmäisetäisyydet eri verkstorakenteille ja seuraavaksi käsiteltävät etäisyydet ovat sen mukaisia. Keskijännitteisillä ilmajohdoilla rakenteesta riippuen johtokatu on 6-10 metriä leveä. Seuraavalla sivulla esitetyssä kuvassa 6 on keskijännitteinen avojohto, joka vaatii 10 metriä leveän johtokadun. Kuvassa on esitelty kuinka johtokadun leveys määräytyy toimintavarmuuteen perustuen. Johtokatu on siis kymmenen metrin leveydeltä rungoton eli puita ei saa kasvaa alueella. Oksat eivät saa ulottua johtokadulla 3,75 metriä lähemmäs pylvästä eli 7,5 metrin alue on täysin oksaton. Tätä oksatonta aluetta kutsutaan myös vapaaksi tilaksi. Kuvassa on myös tarkemmin eritelty perusteet, joilla aiemmin esitetyt etäisyydet on määritelty. Perusteissa on otettu huomioon muun muassa sähköturvallisuuden perustuvat suojaetäisyydet ja tuulen vaikutus puihin ja johtimiin. (Sener 1992)



Kuva 6. Periaatekuva johtokadusta 20 kV avojohdolle (Sener 1992).

Keskijännitteisellä PAS-johdolla, eli päällystetyillä avojohdoilla, on rakenteensa puolesta huomattavasti pienemmät etäisyysvaatimukset verrattuna tavalliseen 20 kV avojohdtoon. Tällöin johtoalue on vain 6 metriä ja vapaa oksaton tila vain 3,5 metriä. (Sener 1992) Keskijännitteisillä ilmajohdoilla ei linjaa siis tehdä täysin puuvarmaksi, kuten korkeammilla jännitetasoilla. Esimerkiksi 110 kV johdoilla johtoaukea on yleensä 26–30 metriä, jonka lisäksi on johtokadun molemmin puolin 10 metrin reunavyöhyke, jolla puiden korkeutta rajoitetaan. (Fingrid 2012a) Kuvassa 7 on esitetty poikkileikkaus 110 kV johtokadusta, josta myös nähdään miten reunavyöhykkeen puuston korkeusrajoitus muuttuu 45° kulmassa kauemmas johtokadusta liikuttaessa.



Kuva 7. Periaatekuva 110 kV johtokadusta ja sen reunavyöhykkeestä (Elovaara & Haarla 2011a).

Johtoaluetta tulee raivata ajoittain, jotta suojaetäisyydet pysyvät kunnossa. Raivausten aikavälit riippuvat hyvin paljon kohteen kasvuolosuhteista ja paikalle ominaisista kasveista. Näin maastoa huomioitaessa puhutaan yleensä tarveperusteisesta raivauksesta, jolloin tarkoin määritellään esimerkiksi lentokuvista, koska raivaus on ajankohtaista. Perinteisesti raivaukset on tehty aikaan perustuvalla kierrolla tietyin väliajoin, jolloin maasto-olosuhteita ei ole juurikaan huomioitu. Aikaperusteisilla raivauksilla raivausten seuranta ja suunnittelu on huomattavasti helpompaa, mutta tarveperusteisella toiminnalla saadaan kohdistettua raivaustoimenpiteitä tarkemmin.

4.2.1 Helikopteriraivaus

Helikopteriraivauksella tarkoitetaan lähinnä helikopterilla tehtyä oksintaa, sillä alustan raivausta ei ole helikopterilla mahdollista tehdä. Tässä diplomityössä tullaan käyttämään muun muassa vertailussa helikopteriraivauksesta myös lyhennettä heko. Helikopterioksinnassa helikopteriin on kiinnitetty kyseiseen tarkoitukseen suunniteltu oksasaha. Saha muodostuu pitkästä puomista, jonka päähän on kiinnitetty sahaosa, jossa voi vaihtelevasti olla kahdesta kymmeneen pyöreää sahanterää. Yleisimmin sahanterää on noin kymmenen. Kuvassa 8 on esitetty erään kymmenestä terästä koostuvan sahaosan rakenne. Niiden halkaisijat voivat vaihdella suuresti, jolloin sahaavan osan pituus on usein viidestä kymmeneen metriin. Etäisyys sahaosasta helikopteriin eli puomin pituus on vajaat parikymmentä metriä. (Mertechev 2011; Onnettomuustutkintakeskus 2008; Onnettomuustutkintakeskus 2013b; Valtonen 2015)



Kuva 8. Helikopterioksinnessa käytettävä kymmenen sahanterän sahaosa kuljetustrailerissaan (Kuvaaja: Pauliina Salovaara 2014).

Helikopterioksinnessa yleensä helikopterin mukana on maamies, joka auttaa sahan kiinnittämisessä ja muissa käytännön asioissa. Turvallisuuden kannalta on lähes välttämätöntä, että maamies on helikopterin mukana. Maamiehellä on kokoajan yhteys helikopterin lentäjään radiopuhelimella, jotta vaaratilanteisiin ja oksimisen onnistumiseen voidaan reagoida välittömästi. Lisäksi maamies hoitaa yhteydenpidon sähköverkkoyhtiön käyttökeskukseen, jotta voidaan ajantasaisesti varautua mahdollisiin helikopterin aiheuttamiin vikatilanteisiin. Maamies auttaa helikopteria muun muassa tienylityksissä, jolloin sahasta voisi olla liikenteelle vaaraa samoin kuin sähkölinjojen risteysalueilla on tärkeää nähdä, ettei saha pääse liian lähelle linjoja. Tarvittaessa maamies myös ohjaa sivullisia kauemmas helikopterista ja sahasta. Maamiehen päätehtävä helikopterioksinnessa on kuitenkin poistaa putoilevat oksat pihoilta, teiltä ja tietysti sähkölinjoilta. (Heikkinen 2015; Mertechev 2011)

Helikopterioksinnessa helikopteri lentää hyvin matalalla, jotta sahalla ylettyä ottamaan mahdollisimman tarkkaan johtokadulle ulottuvat oksat. Oksimisen nopeus riippuu huomattavasti oksittavasta puustosta. Matalassa puustossa oksinta on nopeampaa. Samoin myös puuston tyyppi vaikuttaa huomattavasti oksintanopeuteen. Nopeus vaihtelee siis muutamasta sadasta metrillä jopa kilometriin tunnissa, kun oksitaan johtokadun molemmat puolet. (Valtonen 2015) Helikopterioksinnessa hyviä puolia ovat erityisesti sen tasalaatuisuus, joka helpottaa vianpaikannusta, kun johtokadun reuna on tasamittainen. Myöskään oksien haarautumiskohdat eivät vaikuta oksintaan ja oksat leikkaantuvat nopeasti, jolloin oksa ei leikkauksen yhteydessä revi puun runkoa. (Laakso 2015; Fräntilä 2015)

Sahan ohjauksesta huolehtii helikopterin lentäjä, minkä takia ohjauksesta on tehty mahdollisimman yksinkertaista. Yhdessä esimerkki tapauksessa sahaa voidaan ohjata kolmella eri napilla, joilla onnistuu sahan käynnistäminen/sammuttaminen sekä sahanterien kierrosnopeuden säätö. Näin lentäjä voi keskittyä tärkeimpään, eli helikopterin ohjaukseen. (Mertechev 2011) Kuitenkin helikopterilentäjän kokemuksella ja yrityksen turvallisuusohjeistuksilla on suuri vaikutus sahauksen onnistumiseen ja turvallisuuteen. Suomessa on tapahtunut viimeisen kymmenen vuoden aikana neljä onnettomuutta helikopterin sahauslennoilla, joista osassa syynä on ollut tekninen vika. Kuitenkin kaikissa tapauksissa on vähintään myötävaikuttajana ollut esimerkiksi sääolot, ohjeistuksesta poikkeavat menetelmät tai liian pitkät työskentelyajat. Onnettomuustutkintakeskuksen tapausten tutkintaselostuksissa suosituksissa on kiinnitetty huomioita yritysten toimintatapoihin ja koulutuksen lisäämiseen. Koulutuksen tärkeys korostuu, sillä näitä lentoja tehdään jo valmiiksi epäsuotuisilla lentoalueilla matalalla ja alhaisilla nopeuksilla sekä maastossa, jossa soveltuvia pakkolaskun paikkoja on harvoin. (Onnettomuustutkintakeskus 2008; 2011; 2013a; 2013b) Näiden tilanteiden ehkäisemiseksi tulee myös tilaajan kiinnittää huomioita helikopteriraivausta tarjoavan yrityksen toimintatapoihin ja lentäjien kokemukseen raivaussahan kanssa.

4.2.2 Monitoimikoneraikaus

Monitoimikone on monipuolinen metsätyökone, jota kutsutaan useilla eri nimityksillä kuten moto ja harvesteri. Motolla voidaan tehdä samalla työkoneella useita eri työvaiheita kuten esimerkiksi kaataa ja karsia puut sekä samalla myös katkoa ne haluttuun mittaan. Moto on myös älykäs metsätyökone, sillä katkottaessa se mittaa runkopuiden tilavuudet ja tiedot hakkuumääristä siirtyy sähköisesti puun ostajalle työpäivän jälkeen. Myös työmääräykset saadaan sähköisesti motoon, jossa kuljettaja näkee näytöltä hakkuualueet kartalla. (Suomen Metsäyhdistys 2015) Moto on siis ensisijaisesti hakkuukone ja suunniteltu metsänhoitotöihin, mutta soveltuu myös osin sähköverkon kunnossapitoon liittyviin töihin. Seuraavalla sivulla kuvassa 9 onkin esitetty moto työssään tekevässä vierimetsänhoitoa.

Motolla on mahdollisuus tehdä molemmat sekä alustan raivaus että oksinta, toisin kuin helikopterilla. Moton käyttöä harkitessa tulee tarkastella kohteen olosuhteet tarkkaan, sillä varsinkin syksyllä, kun maa on kosteaa voi maastoon jäädä koneesta huomattavat painaumat. Siksi metsäkoneille perinteisesti parhaana aikana työskennellä on pidetty talvea, jolloin maa on roudassa ja juuri- sekä maastovahingot jäävät pienimmiksi. Nykyisin kuitenkin motojen varusteet kuten erilaiset telaketjut ovat niin kehittyneet, että koneilla voidaan työskennellä ympäri vuoden. Kaikki maastot eivät kuitenkaan ole otollisia monitoimikoneelle. Esimerkiksi kivikkoisessa ja kallioisessa maastossa liikkuminen voi olla vaikeata. (Koistinen 2015; Soanjärvi 2015)



Kuva 9. *Monitoimikone tekemässä vierimetsänhoitoa (Kuvaaja: Maija Laine 2015).*

Moton käyttö on sähköverkon raivauksissa kuitenkin haasteellista, sillä sähköverkon turvaetäisyydet tulee huomioida työskentelyssä. Turvaetäisyydet 20 kV avojohdon lähettävillä työskennellessä pitäisi olla vähintään 2 metriä linjan alapuolella ja vähintään 3 metriä sivusuunnassa. (Energiateollisuus 2015a) Motojen puomien ulottuvuudet vaihtelevat noin 7–12 metrin välillä, jolloin vaarana on vähintäänkin turvaetäisyyksien rikkoutuminen ja jopa osuminen linjaan. Vaara on suuri, sillä moton on raivauksissa melkein poikkeuksetta kuljettava johtokadulla, jossa pylväiden ja metsän välissä on parhaassakin tapauksessa kj-linjalla vain 5 metriä tilaa. Motot ovat kuitenkin leveydeltään vähintään pari metriä, joten työskentely johtokadulla vaatii ehdotonta valppautta koko ajan. (John Deere 2015; Ponsse 2015) Suuremmilla jännitetasoilla johtokaduilla motoilla on huomattavasti paremmat edellytykset raivaamiseen, sillä tilaa liikkua on enemmän ja välitöntä vaaraa osua linjaan ei ole, vaikkakin myös tällöin tulee noudattaa riittävää varovaisuutta.

Vaikka tavallisesti motojen puomin pituus ei välttämättä riitä korkeimman puuston oksintaan, on ainakin muutamalla metsäkoneyrityksellä käytössään sähköverkon reuna-puuston oksintaa varten kehitetty pidempi puomisto, jolla voidaan ulottua noin 18 – 20 metriin. (Raiv.O Team 2015; Kymen linjanraivaus 2015) Soveltuvuus sähköverkon lähettävillä tehtäviin töihin voidaan varmistaa esimerkiksi jännitteen kestokokeilla, jolloin töiden sähköturvallisuus paranee huomattavasti. (Raiv.O Team 2015)

4.2.3 Raivaus metsurityönä

Perinteisesti sähköverkon raivaukset on tehty käsityönä metsureiden voimin. Tämä käsittää alustan raivauksen ja johtokadun reunapuiden oksinnan. Työn hyvin ja erityisesti turvallisesti tekeminen vaatii myös monipuolisia varusteita. Sähköalojen verkostotöihin tarkoitettussa työturvallisuusohjeessa todetaan, että ns. metsurin varustusta tulee käyttää muun muassa pensaiden ja vesakkojen raivauksissa (TTK 2013). Tärkeimpiä työvälineitä suojavarusteiden lisäksi ovat raivaussaha, moottorisaha ja oksasaha sekä oksasahaan tarvittavat varret. (Valtonen 2015) Raivaussaha on olennaisin työväline alustan raivauksessa, koska sillä on mahdollista raivata pusikoita ja vesakkoa nopeasti ja työasento on huomattavasti ergonomisempi kuin esimerkiksi moottorisahalla työskennellessä. Moottorisahaa käytetään metsurityönä tehdyissä raivauksissa, mikäli johtokatu on kaventunut tai muutoin johtokadulle on ehtinyt kasvaa paksumpia puita, joita turvallisuuden takia ei kannata kaataa raivaussahalla (Fingrid 2012b). Oksinnassa ei voida käyttää samoja välineitä kuin alustan raivauksessa. Käsien tehdyssä oksinnassa työ tehdään teleskooppivarten kiinnitettävällä oksasahalla, johon tarpeen vaatiessa voidaan vaihtaa erilaisia teriä. Oksasahan varsi on yleensä noin 9 metriä, mutta osa voi olla myös jopa 12 metrisiä. Nämä pidemmät varret ovat kuitenkin huomattavasti raskaampia käsitellä, jolloin työskentely hidastuu. (Valtonen 2015)

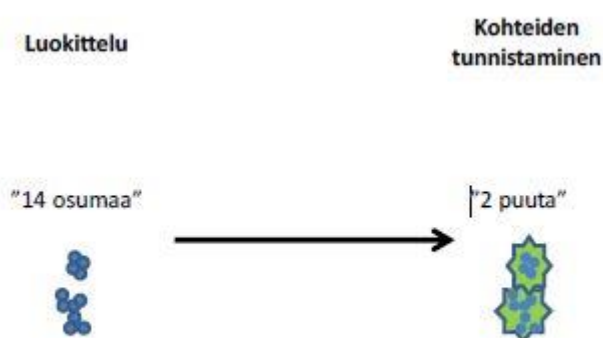
Metsurityönä raivauksia tehtäessä luontoa ei rasiteta ylimääräisellä koneellisella kuormituksella ja näin ollen se on ekologisesti kestävä vaihtoehto. Hyötyinä on myös, että esimerkiksi kivet on mahdollista kiertää helposti ja maasto ei ole yleensä rajoittava tekijä. Työ on kuitenkin suhteellisen hidasta ja työlästä, jolloin tarvitaan huomattava määrä työntekijöitä suurilla raivausmäärillä. Tällöin subjektiiviset arviot voivat vaikuttaa raivaajan työn laatuun ja raivausten työnjälki voi vaihdella suuresti eri alueiden välillä. (Soanjärvi 2015; Fräntilä 2015)

4.3 Raivausten suunnittelu ja toteutus Eleniassa

Eleniassa raivaukset tehdään edelleen pääsääntöisesti metsurityönä. Monitoimikoneella tehtyjä raivauksia on tähän mennessä tehty vain muutamalla KJ-johtolähdöllä vuonna 2013 ja vikatoissa esimerkiksi 2015 vuoden alun lumikuormatilanteissa. Helikopteri-raivauksia on kokeiltu useissa paikoissa 2009–2015 välisenä aikana suunnitellusti pilotteina sekä myös vikatilanteissa. Suunnitelmalliseen laajempaan käyttöön menetelmiä ei vielä ole vielä kuitenkaan otettu. Tässä diplomityössä pyritäänkin selvittämään missä ja miten koneellisia raivausmenetelmiä voisi paremmin hyödyntää.

Jakeluverkon raivaukset suunnitellaan tarveperusteisesti perustuen lentotarkastuksissa kerättyyn materiaaliin. Ennen lentotarkastuksien aloittamista raivauksia ei toteutettu tarveperusteisesti vaan aikaan perustuvalla kierrolla. Lentotarkastuksista tehtävän komponenttitarkastuksen yhteydessä tarkastajat määrittävät vain akuutit raivaustarpeet. Aiemmin tarkempi raivaustarpeen määrittely on tehty 3D-kuvamateriaalista. Nykyisin

raivaustarkastelu tehdään lennoilla kerätystä laseraineistosta ja tarkasteluun on otettu mukaan automaattinen raivausanalyysi. Automaattista raivausanalyysiä kartoitettiin Sähkö tutkimuspoolin projektissa vuonna 2013, jolloin tehtiin määrittelyt kuinka sen tulisi toimia ja minkälaisilla toiminnallisuuksilla sitä olisi mahdollista hyödyntää. Projektissa raivausanalyysiä käsiteltiin ACCA (Automatic Corridor Clearance Analysis) termillä. ACCA perustuu kuntotarkastusten laserkeilausaineistoon sekä verkkotietokantaan. Raivausanalyysissä käytännössä tarkastellaan laserkeilauksen pistepilveä ja muunnetaan ne tunnistettaviksi kohteiksi, joita voidaan helpommin analysoida. Pistepilvestä voidaan siis erottaa toisistaan esimerkiksi johtimet, pylväät, puut ja rakennukset. Kuvassa 10 on esitetty analyysin kohteiden tunnistaminen pistepilvestä. (Cortex Ventures Oy 2013a; 2013b)



Kuva 10. Laserkeilausaineiston pistepilvestä kohteiden tunnistamisen periaate ACCA ohjelmassa (Cortex Ventures Oy 2013b).

Automaattisen raivausanalyysin toiminta perustuu malliin, joka ottaa huomioon etäisyyden sähkölinjasta. Malli voi olla esimerkiksi laatikko-, ympyrä- tai banaanimallinen eli mallissa tarkastellaan geometrisiä etäisyyksiä, jossa etäisyys linjasta yhdessä pisteiden kanssa määrittelee, kuinka kriittisestä havainnosta on kyse. Kun etäisyystiedot yhdistetään tunnistettujen kohteiden tietoihin, saadaan joukko havaintoja, joille on mahdollista analyysiin luotujen sääntöjen perusteella tehdä toimenpide-ehdotuksia. Esimerkiksi Suomessa käytössä olevassa laatikkomallissa kriittisin alue on 3,5 m x 4 m aivan johdinten ympärillä, jolloin tähän alueelle luokiteltu oksa saa toimenpide-ehdotuksen oksinnasta. Erilaisia toimenpideluokkia ovat esimerkiksi alustan raivaus, oksinta ja tarkastuskäynti. (Cortex Ventures 2013b)

Automaattista raivausanalyysiä hyödyntämällä jää tarkastajan subjektiivisuus pois, jolloin koko verkkoalue tulee tarkastettua samoilla kriteereillä ja automaatiota lisäämällä voidaan henkilöresurssit kohdistaa tärkeimpiin työtehtäviin. Haasteita kuitenkin tunnistamiselle tuo esimerkiksi johtokadulla sijaitsevat katajat, joita ei Elenian raivausohjeen mukaisesti poisteta johtokadulta. (Elenia 2014d)

Automaattisen raivausanalyysin jälkeen kunnossapidon suunnittelija käy tulokset läpi ja suunnittelee näiden perusteella seuraavana vuonna tehtävät raivaukset. Tässä suunnittelussa pyritään ottamaan huomioon muun muassa tulevat ilmajohtoverkon maakaapelointi projektit. Tämän jälkeen suunnitellut työt tilataan urakoitsijalta, jotka toteuttavat annetut työt ohjeiden mukaisesti. Raivausten toteuttamista ohjataan Elenian johtoalueiden raivausohjeella ja johtoalueiden raivausohjeliitteellä. Raivausohjeessa määritellään milloin verkolla tehdään raivausta tai puiden kaatoa. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi uuden johtoalueen raivaus, kunnossapitoraivaus, johtoalueelle kaatuneiden puiden poisto sekä uhkaavien reunavyöhykkeellä sijaitsevien puiden poisto. Ohjeessa määritellään hyvin tarkkaan myös sähköalan ammattitaitovaatimukset, turvatoimenpiteet, raivausperiaatteet, raivausrajoitusten kanssa toiminta, ympäristönäkökohdat, poikkeukset sekä viestintä raivauksista. Raivausohjeliitteessä puolestaan on esitetty kuvat verkon eri rakenteista eri jännitetasoilla sekä niiden johtoalueen ja vapaan tilan leveydet. Yhtenä esimerkkinä liitteen kuvista on aiemmin luvussa 4.2 esitetty kuva 6, joka on peräisin verkostosuosituksista. (Elenia 2014d; 2014e)

Kunnossapidon raivauksissa, joissa työskennellään verkon jännitteisten osien läheisyydessä, vaaditaan aina perehtyneisyyttä, mutta uuden johtokadun raivaamisessa ei vastaavaa ammattitaitoa vaadita. Urakoitsijan vastuulla onkin, että kaikki työntekijät ovat asianmukaisesti koulutettuja ja työhönsä opastettuja. Raivaustoissa urakoitsijalta vaaditaan sähkötöidenjohtajan nimeämistä omasta henkilöstöstään sekä jokaiseen työkohteeseen tulee erikseen nimetä sähkötyöturvallisuudenvalvoja (STV). Lisäksi turvallisuuden vuoksi standardeissa ja määräyksissä esitettyjä vähimmäisetaisyyksia ei saa alittaa. Mikäli työtä ei voi tehdä näitä noudattaen, tulee urakoitsijan tilata sähkönjakelun keskeytys. (Elenia 2014d)

Raivausperiaatteet ovat ohjeissa hyvin käytännön läheiset aina kantojen koosta ja puiden kaatosuunnasta lähtien. Periaatteissa huomioidaan raivausjätteen käsittely, mahdolliset vahingot raivausten yhteydessä sekä hedelmäpuihin ja kaareutuviin reunapuihin suhtautuminen. Myös johtoalueen korkeus on mainittu erikseen ja se tuleeikin raivata niin korkeaksi, että oksat ja latvat eivät voi taipua tai katketa linjalle. (Elenia 2014d)

4.4 Raivausprosessin laadunhallinta

Sähköverkon kannalta raivauksista tulisi saada mahdollisimman suuri hyöty. Tämä kuitenkin edellyttää, että raivaukset on tehty laadukkaasti. Se ei kuitenkaan ole ollut itsestään selvää, sillä viime vuosina on myös paljastunut sellaisia ääritapauksia, joissa raivatuksi dokumentoiduissa kohteissa ei ole edes käyty paikanpäällä. Tällaisten tapausten välttämiseksi ja työnjäljen seuraamiseksi laadunhallinta on välttämättömyys raivausprosessissa. Jotta laatua voidaan hallita, tulee määritellä mitä tarkoittaa laadukas raivaus ja mitä se sisältää. Raivausta voidaankin tarkastella, kuten mitä tahansa kulutushyödykettä. Näillä jokaisen tuotetun kappaleen tulee olla samanlainen sekä markkinoidun mukainen. Raivauksissa tämä tarkoittaisi siis, että jokaisen raivatun kilometrin tulee olla teh-

tynä samalla tavalla ja ohjeistuksen mukaisesti. Eleniassa on määritelty raivauksissa seurattavat laatukriteerit. Nämä kriteerit perustuvat muun muassa työturvallisuuteen, reklamaatioihin ja aikatauluihin (Elenia 2014f). Raivausprosessin laatua tarkastellessa pitää kuitenkin huomioida myös muita asioita, kuten asiakaskontakteja ja dokumentointeja. Ne vaikuttavat omalta osaltaan verkkoyhtiön palvelun laatuun ja ovat siksi myös olennainen osa raivausprosessin laadunhallintaa.

Raivausprosessi voidaan jakaa kolmeen osaan: raivausten suunnittelu, toteutus sekä dokumentointi ja seuranta. Laadun kannalta kriittisin vaihe on toteutus, mutta kaikilla osa-alueilla voidaan prosessin laatuun vaikuttaa. Raivausten suunnittelussa raivausanalyysin tarkkuus ja analyyseistä tehtävät tulkinnat ovat raivausprosessin laadukkuuden kannalta erittäin tärkeitä. Mikäli suunnittelussa ei osata kohdistaa raivauksia oikein, ei raivauksissa saavuteta verkon kannalta parasta tilannetta, vaikka näiden perusteella tehdyt raivaukset olisikin tehty laadukkaasti. Laadunhallinnan kannalta suunnittelu on kuitenkin haastava, sillä suunnittelun laadukkuudelle on vaikea asettaa selkeää mittaria toisin kuin toteutukselle.

Raivausten toteutus sekä dokumentointi ja seuranta kulkevat laadunhallinnassa käsi kädessä, sillä ainoa tapa varmistua toteutuksen laadusta on hyvin toteutettu seuranta. Ilman seurantaa toteutus voi myös olla erittäin laadukasta, mutta sitä ei voida suoraan todentaa. Raivausten toteutuksen seurantaa tehdään Eleniassa nykyisellään pistokokein tehtävin tarkastuksin. Käytännössä siis satunnaisella valinnalla käydään tarkastamassa pieni osuus raivatuksi dokumentoidusta linjasta. Tällöin voidaan todeta työnlaatu tarkastetulta osuudelta ja tarpeen vaatiessa reklamoida. Tämä käytäntö kattaa kuitenkin vain hyvin pienen osuuden raivatusta verkkopituudesta, jolloin useita satoja kilometrejä jää ns. luottamuksen varaan. Pistokokeiden tekeminen vie myös huomattavasti aikaa ja resursseja.

Elenialla vuoden 2015 aikana on otettu käyttöön liittymä- ja verkonhallintaprosessien työturvallisuuden ja laadun valvontaan T3-raportointityökalu (NordSafety 2014). Työkalu on käytössä muun muassa eri investointiprojekteissa, mutta se ei ole vielä käytössä raivausprosessin laadunvalvonnassa. Raportointityökalulla seurataan työvaiheessa omaa työtä sekä työvaiheen lähtötietojen oikeellisuutta. Samoin työkalulla voidaan tehdä työmaatarkastukset selkeän työkalun avulla ja mahdollisten puutteiden ilmetessä ne voidaan laittaa suoraan eteenpäin nimetylle henkilölle hoidettavaksi. Yksittäisen liittymän rakentaminen on kuitenkin prosessina helpommin mitattavissa laatutyökalulla, kuin raivausprosessi, jossa selkeämpiä välivaiheita on vähemmän. Työkalu tullaan ottamaan myös kunnossapidossa käyttöön, jolloin erityisesti pistotarkastusten yhteydessä siitä saadaan hyötyä, koska tarkastuksista saadaan kerättyä entistä tarkempaa dataa.

Yhtenä lisäkeinona raivaustarkasteluissa on pyritty käyttämään lentotarkastuskuvia. Pääasiassa näistä tarkastellaan raivaustarvetta, joten seurantaan nämä eivät ole täysin optimaalisia. Kuitenkin vuosittain osa alueista on raivattu lentoa edeltävänä vuonna,

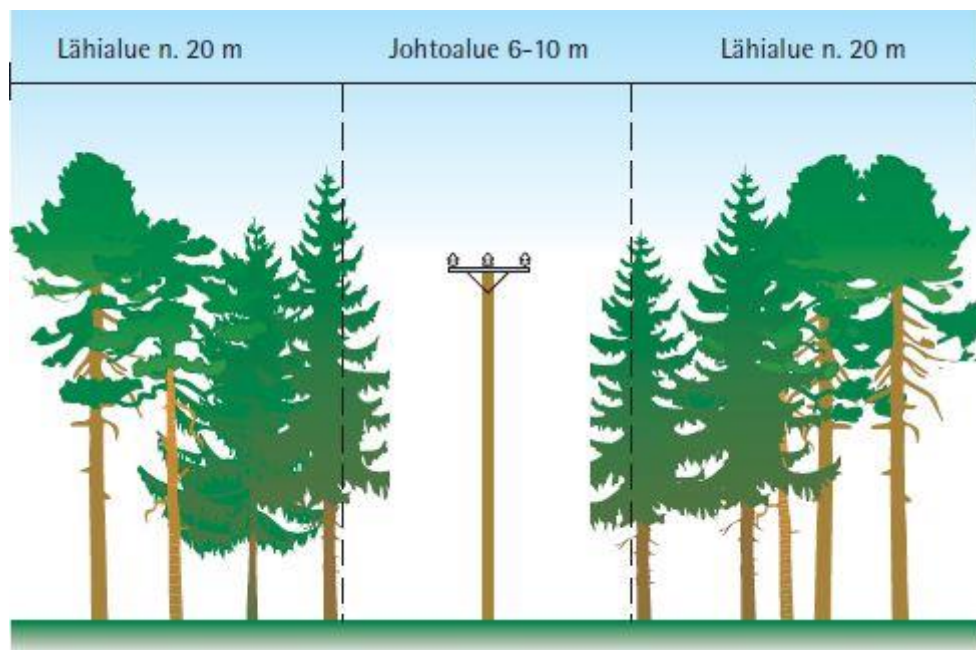
jolloin on mahdollista manuaalisesti tarkastella onko johtokatu raivattu ja vielä tarvittaessa verrata kuvaa aiemman lentokierroksen kuviin. Näin tehtynä tarkastelu on melko aikaa vievää, mutta kuvista nähdään selvästi työn toteutuminen, mutta tarkan työnjäljen havainnointi on haasteellisempaa. Raivausten toteutumisen seuranta olisi käytännössä mahdollista toteuttaa automaattisesti kuten luvussa 4.3 esitetty raivausanalyysi. Vertailemalla kahden eri lentokierroksen laseraineistoa on mahdollista saada näkyviin muutokset linjan ympäristössä. Tämän toteuttaminen kuitenkin vaatii, että lentotarkastus tehdään myös raivausten jälkeen. Ongelmana on, että samoista kuvista ei voida tarkastella sekä raivaustarvetta että raivausten toteutumista. Käytännössä tämän toteuttaminen vaatisi siis ylimääräistä lentokierrosta raivausten jälkeen.

Raivausprosessissa poikkeamat laadussa voivat tulla ilmi muutoinkin kuin pistotarkastusten ja lentotarkastusten kautta. Viankorjauksen yhteydessä sekä asiakkaiden yhteydenottojen perusteella voidaan myös havainnoida puutteita raivauksessa sekä itse raivausprosessissa. Viankorjauksessa huomataan raivauksen tila nopeasti, kun korjauspartio saapuu vikapaikalle. Usein tällaisessa tilanteessa vian myötävaikuttajana on myös ollut raivaamattomuus. Asiakkaiden yhteydenottojen perusteella tulee myös raivaamattomuuksia ilmi, sillä asiakkaat ovat herkästi yhteydessä, mikäli huomaavat linjaan osuvaa puustoa. Erityisesti tilanteissa, joissa oksat ovat jo aiheuttaneet valokaaria. Usein yhteydenotot ovat myös reklamaatioluonteisia. Tyytymättömyyttä herättävät muun muassa työnjälki pihapiirissä, vahingot arvopuustolle/marjapensaille sekä tiedotuksen puute. Työnjäljet ja muut vahingot ovat yleensä yksittäistapauksia, mutta tiedotuksen puutteesta kertovat reklamaatiot tarkoittavat, että nykyinen tiedotus ei saavuta asiakkaita.

Nykyisin asiakkaita tiedotetaan raivauksista ilmoituksella paikallisessa sanomalehdessä ja raivausalueen lähetyvillä asuville kotiin jaettavilla postikorteilla. Raivauskorttien jako on kuitenkin aikaa vievää toimintaa, joten kovin laajalle alueelle tätä ei todellisuudessa tehdä. Lisäksi Elenian nettisivuilta löytyy kartta, johon on merkitty alueet, joilla raivaus on käynnissä. Raivausten toteuttamiselle on kuitenkin annettu pitkä aikaväli, joten nettisivujen kartassa tiedotus ei ole kovinkaan tarkasti ilmoitettu vaan esimerkiksi vuoden 2015 raivauksista usealle kohteelle on ilmoitettu aikaväliksi 3/2015 – 12/2015. Tällöin erityisesti alueellisen tiedotuksen ajoitukseen tulee kiinnittää huomiota, jotta asiakkailla olisi ajankohtaisesti tieto saatavilla. Nettisivujen kartta on informatiivinen, mutta osana tiedotusta sitä ei voida pitää, sillä sen löytää vain jos sitä osaa etsiä. Tiedotuksen puolella haasteena onkin siis kuinka tavoittaa ne ihmiset, jotka syystä tai toisesta eivät ole huomanneet lehti-ilmoitusta eivätkä itse huomaa hakea tietoa nettisivuilta. Tiedotuksen jäädessä puutteelliseksi avainasemaan nousee urakoitsijan asiakaskontakti eli kuinka raivaajat informoivat asiakasta maastossa kohdatessaan. Joissakin reklamaatioissa on esiin noussut aliurakoitsijoiden ulkomaalaiset raivaajat, mutta palaute ei ole niinkään liittynyt työnjälkeen vaan siihen, että pihapiireissä liikkuvat ulkomaalaiset herättävät hämmennystä, kun asiasta ei ole ollut ennalta tiedotettu.

5. VIERIMETSÄNHOITO

Vierimetsällä tarkoitetaan keskijännitteisen sähkölinjantapauksessa sitä puustoa, joka sijaitsee johtokadun ulkopuolella ja joka voi sääilmiöiden tai muun syyn seurauksena koskettaa sähköjohdinta tai kaatua sen päälle tai voi myöhemmin kasvaessaan muodostaa tällaisen uhan. Vierimetsän leveyden määrittelyssä on eroja, mutta useimmiten puhutaan johtokadun reunasta alkavasta 10 – 20 metrin kaistasta. (Tapio 2013e) Kuvassa 11 on esitetty periaatteellinen kuva sähköverkon johtokadusta sekä sitä ympäröivästä vierimetsästä. Tässä diplomityössä vierimetsien määritelmänä käytetään Elenian Vierimetsänhoito 2014 työselostuksen määrittelyä, jossa vierimetsä määritellään 10 metriä leveään johtoalueen ulkopuolella sijaitseväksi ja hoitotoimenpiteet yltävät noin 15 metriin johtoaukon molemmin puolin. (Elenia 2014b)



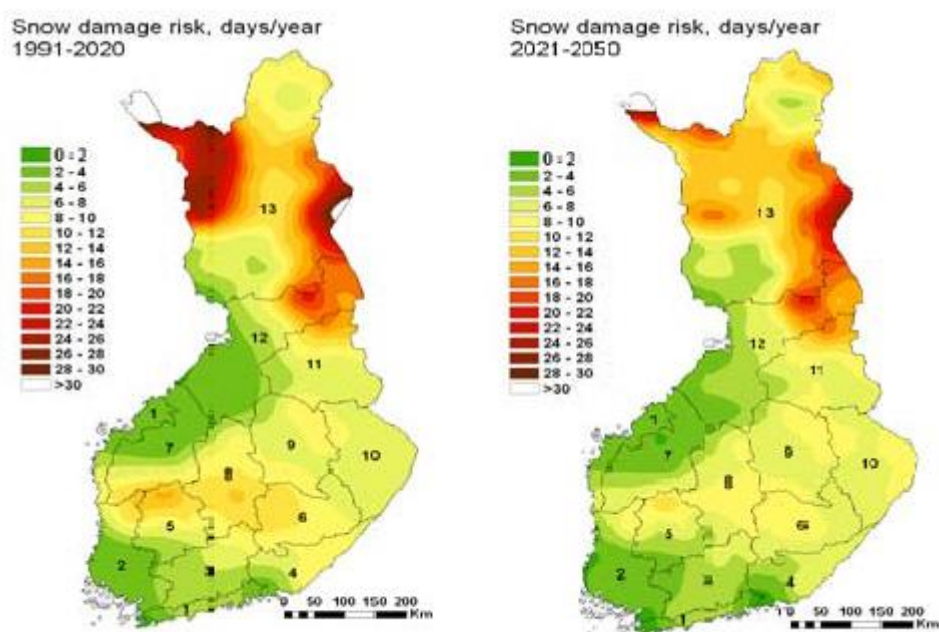
Kuva 11. Periaatekuva sähköverkon vierimetsistä keskijännitelinjan johtokadun ulkopuolella (Energiateollisuus et al. 2008).

Viimeaikoina vierimetsien hoito on tullut yhä ajankohtaisemmaksi. Vierimetsien hoitoa ei välttämättä edes tarvittaisi sähköyhtiöiden toimesta, sillä Metsätalouden kehittämisskeskus Tapion projektiraportissakin todetaan, että ”- - metsänhoitosuositusten mukainen hyvä metsänhoito vähentää puiden kaatumisriskiä sähkölinjoille.” (Tapio 2013e) Kuitenkin vuoden 2014 metsätilastollisessa vuosikirjassa todetaan, että nuoren metsän kunnostusala on supistunut vuodesta 2009 alkaen ja taimikoitakin hoidetaan aikaisempaa vähemmän. (Metla 2014) Nämä ovat kuitenkin ne vaiheet, jolloin metsänhoitoa tulisi eniten harjoittaa ja ne ovat myös tärkeimmät myöhempien metsätuhojen välttämiseksi,

kuten luvusta 3 huomattiin. Tähän metsänhoidon hieman muuttuneeseen tilanteeseen on herätty myös sähköverkkoyhtiöissä, koska vierimetsästä linjoille taipuvat yleensä hoitamattomien metsien riukuuntuneet puut. Metsänomistajia ei voi kuitenkaan pakottaa hoitamaan metsäänsä, joten sähköverkkoyhtiöille on pyritty saamaan paremmat mahdollisuudet ja kannustimet sähkölinjojen vierimetsien hoitoon.

5.1 Vierimetsän riskitekijät

Vierimetsänhoidossa on kyseessä yleensä riskienhallinnasta ja toimintavarmuuden parantamisesta. Aikaisemmin luvussa kolme käsiteltiin yleisesti metsänhoitoa ja luvussa neljä puolestaan muun muassa johtokadun raivaamattomuudesta syntyviä vikoja. Puhuttaessa vierimetsien riskitekijöistä yhdistyvät muun muassa nämä molempien aiempien lukujen aiheet. Sään vaikutuksia lumituhoriskille on tutkittu aiemmin muun muassa ”Metsien tuuli- ja lumituhoriskien hallinta ja metsänhoidon sopeuttamistarve muuttuvassa ilmastossa” – hankkeessa, jossa toteutettiin kuvan 12 mukaiset kartat muun muassa Ilmatieteenlaitoksen havaintoasemien aineistoihin perustuen. (Peltola 2010)

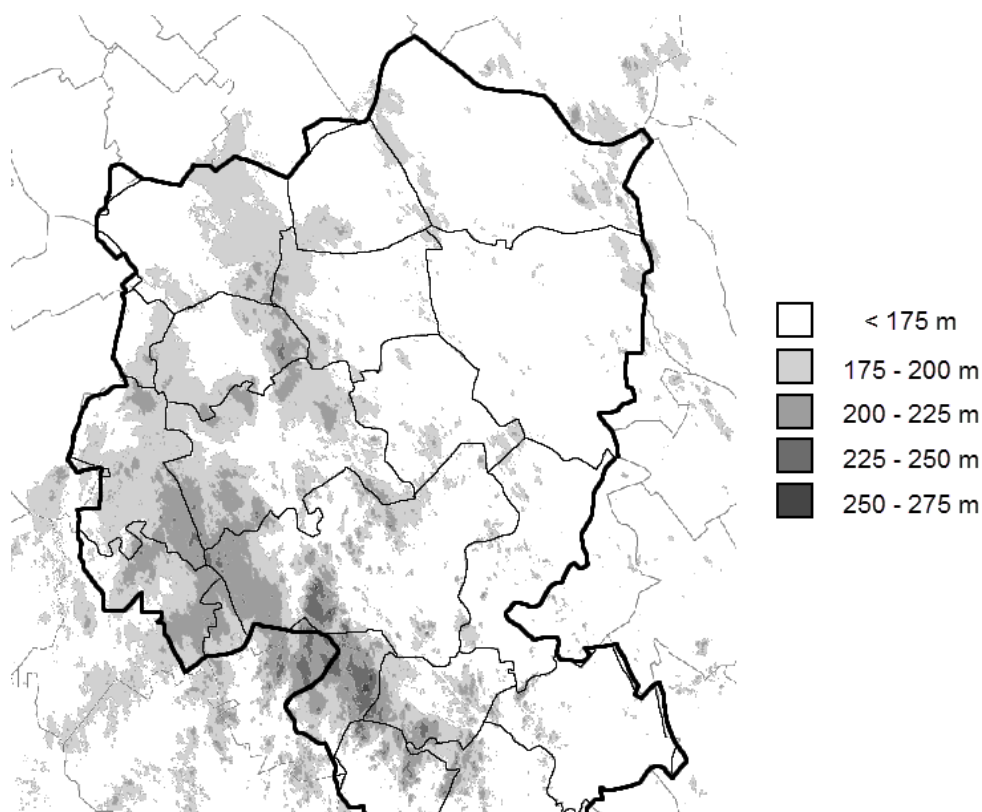


Kuva 12. Lumituhoriski päivää/vuosi arvoina vuosille 1991–2020 ja 2021–2050 (Peltola 2010).

Kartoissa on kuvattuna kuinka monta päivää on vuodessa, jolloin on riski lumituhaille. Lumituhoriski on määritelty siten, että puiden lumikuorma on yli 20 kg/m^2 , joka vastaa noin 20 mm sademäärää (Gregow 2013). Kuvista huomataan, että Pohjois-Suomea lukuun ottamatta riskipäivien määrä vaihtelee Suomessa noin 0–14 päivän välillä. Pirkanmaan pohjoisosissa on Suomen eteläisen puoliskon riskialteinta aluetta. Kyseinen alue ei kuitenkaan kuulu tässä diplomityössä tarkemmin tarkasteltavan Elenian verkkoalueel-

le, jolloin eniten riskipäiviä verkkoaluetta tarkastellessa on Keski-Suomessa. Kuvassa 12 oikealla on myös esitetty lumituhoriskipäivien määrän kehittyminen FinAdapt ilmastokenaarion (*Suomalaisen ympäristön ja yhteiskunnan kyky sopeutua ilmastomuutokseen –hanke*) mukaisesti (Peltola 2010).

Kun verrataan edellä esitettyä kuvan 12 karttaa ja metsänhoidollisista lähteistä löytyviä tietoja, huomataan muun muassa lumituhojen yhteys maaston korkeuteen merenpinnasta. Metsänhoidon suosituksissa (Äijälä et al 2014) lumituhosta mainitaan, että ne ovat tavallisimpia Pohjois-Suomessa, varsinkin alueilla, jotka ovat yli 250 metriä merenpinnasta. Luonnonvarakeskuksen metsien terveyteen liittyvissä tiedoissa nostetaan esiin myös muina lumituhonalueina etelärannikko, suomenselän alue ja Pohjois-Karjalan vaara-alueet (Metla 2005). Näistä erityisesti suomenselän alue osuu Elenian verkkoalueelle ja se myös erottuu osin kuvan 12 kartoissa noin Pirkanmaan (nro 5) ja Keski-Suomen (nro 8) pohjoisrajojen kohdalla. Tarkemmin kuvassa 13 onkin esitetty korkeus merenpinnasta Keski-Suomen pohjoisosissa. Kuvassa näkyy kuntarajat sekä paksuimpana on Keski-Suomen operointialueen raja. Kuvaan on korostettu kaikki yli 175 metriä merenpinnasta olevat alueet ja alueet tummentuvat aina 25 metrin välein, niin että tummimmat pisteet ovat 250–275 metrin välillä merenpinnasta. Vaikka korkeus merenpinnasta ei kohoa kovinkaan korkeaksi Elenian verkkoalueella, korottaa se silti lumituhoriskipäivien määrää Keski-Suomessa, kuten kuvaan 12 verratessa huomataan.



Kuva 13. Korkeus merenpinnasta Keski-Suomen pohjoisosissa. Tiedot on korostettu Paikkatietoikkunan (2015) korkeusrasterista.

Maaston korkeuden vaikutus lumituhoihin perustuu ilmasto-olosuhteiden muutokseen. Korkeammilla alueilla syntyy herkemmin tykkylunta, jonka syntyminen perustuu suureen määrään ilman kosteutta sekä veden puustoon kiinnittävään fysikaaliseen mekanismiin. Tykyn syntyminen, erityisesti nuoskatyky, on hyvin lämpötila herkkää ja sitä syntyykin tehokkaasti kun lämpötila vaihtelee 0 ja 0,5 asteen välillä. Hetkellinen pakastuminen edesauttaa tykyn syntyä. (Ilmatieteenlaitos 2015) Kuitenkin lumituhoja voi syntyä muulloinkin kuin tykkylumen herkissä olosuhteissa. Esimerkiksi runsaissa syksyn ensimmäisissä lumi-/räntäsateissa, joissa puusto ei ole vielä tottunut lumen painoon, lumituhot ovat mahdollisia.

Kuvassa 14 on esimerkki tykkylumen vaikutuksesta sähkölinjan varrella tammikuun 2015 lumikuormissa. Kuvasta nähdäänkin lumen ohuita lehtipuita taivuttava vaikutus ja kuinka kuusiin vaikutus on hyvin pientä. Havupuista mänty onkin huomattavasti alttiimpi lumituhoille kuin kuusi, joka riippuvien oksiensä ansioista kestää lumen aiheuttamaa painoa paremmin (Metla 2005). Metsän kehitysluokat kuitenkin vaikuttavat riskeihin oleellisesti paikallisella tasolla ja näihin riskitekijöihin voidaan myös vaikuttaa, toisin kuin sääolosuhteisiin (Tapio 2013d). Seuraavaksi onkin kuvattu riskien suuruutta eri kehitysluokissa.



Kuva 14. Tykkylumikuorman vaikutus sähköjakeluverkon vierimetsiin (Kuvaaja: Heli-kopterikeskus 2015).

Valtapuulajista ja metsikön iästä riippuen riskit ovat erilaiset, mutta yhteneväisyyksiäkin löytyy paljon. Siemenpuumetsiköt ovat riski, jos siemenpuita on jätetty alle 20 met-

rin päähän linjasta. Tämä riski harvemmin toteutuu, sillä metsänhoitosuosituksien ja metsäsertifiointikriteerien mukaan säästöpuita ei tule jättää muun muassa sähkölinjojen läheisyyteen. Pieni ja varttunut taimikko ei aiheuta riskejä kasvatusvaiheessaan, mutta hoitamattomuus tässä vaiheessa luo riskin myöhempiin kasvatusvaiheisiin. Nuori kasvatusemetsä on selvästi riskialtein luokka kaikilla puulajeilla, mutta erityisesti koivut luovat suuren riskin. Esimerkiksi valtapuulajin ollessa mänty tai kuusi tulisi lehtipuut poistaa vierimetsästä kokonaan. Tässä vaiheessa ei kuitenkaan tulisi tarvita enää hoitotoimenpiteitä vaan asianmukainen harvennus olisi tullut tehdä jo taimikkovaiheessa. Vartuneemmissa kasvatusmetsissä ja uudistuskypsissä metsiköissä riski on melko pieni, jos ensiharvennukset ovat tehty asianmukaisesti. Metsikön muuttuessa yli-ikäiseksi riski alkaa jälleen kasvaa lahoutumisen vuoksi, jolloin puut ovat alttiimpia myrskytuhoille. Näissä metsiköissä harvennus ei enää auta vaan se voi jopa lisätä riskiä, jolloin metsän uudistus on sähkölinjojen kannalta paras vaihtoehto. (Tapio 2013d)

Vierimetsien riskitekijät jakautuvatkin siis kahteen luokkaan alueellisiin ja paikallisiin. Alueelliset tekijät ovat riippuvaisia alueen säästä ja maastosta, joihin ei voida vaikuttaa, mutta ne voidaan huomioida vierimetsänhoidon suunnittelussa. Paikalliset tekijät puolestaan ovat puustosta ja sen kehitystekijöistä riippuvaisia. Vierimetsissä sovellettavat toimenpiteet riippuvatkin siis hyvin paljon näistä paikallisista riskitekijöistä, jolloin menetelmä, joka soveltuu toiseen puuston kehitysluokkaan, voi toisessa kehitysluokassa lisätä riskiä vaurioittaa sähkölinjaa. Tällöin toimenpiteet tuleekin määritellä tarkkaan, jotta vierimetsänhoidosta saadaan mahdollisimman suuri hyöty tai urakkaan tulee valita sellainen tekijä, jolla on riittävä ymmärrys metsänhoidollisista toimenpiteistä, jotta riskit sähkölinjalle ja metsälle voidaan minimoida.

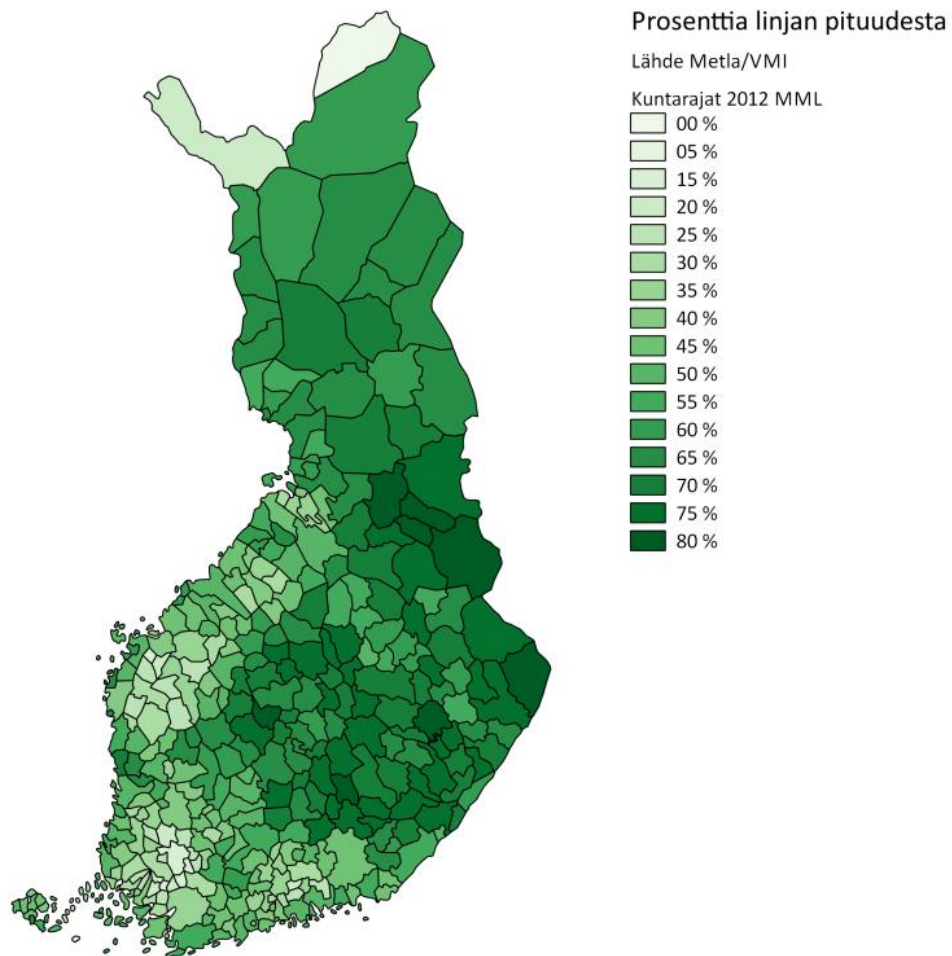
5.2 Vierimetsänhoidon edistäminen

Vierimetsien hoidosta on viime vuosina käynnistetty useampia projekteja, jotta löydetäisiin parhaat käytännöt vierimetsänhoidon toteuttamiseen ja tarpeen määrittelyyn. Tällaisia projekteja ovat olleet esimerkiksi Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion Sähkölinjojen vierimetsä – projekti, joka valmistui 2013 sekä Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen ”Tuuli- ja lumituhojen ennakointi metsäalueilla energianhuollon ja kulkuvarmuuden turvaamiseksi Pohjois-Pohjanmaalla”, joka päättyi vuoden 2014 lopussa. Vierimetsänhoitoa ei ole pyritty edistämään pelkästään yksittäisillä projekteilla vaan myös sähköjakeluverkonhaltijoiden sääntelyssä ja valvonnassa on vierimetsänhoitoa pyritty tuomaan paremmin esille. Seuraavissa alaluvuissa käsitellään näiden edistävien ja tiedottavien projektien tavoitteita ja tuloksia sekä sähköverkkoliiketoiminnan valvontamallissa olevaa toimitusvarmuuskannustinta.

5.2.1 Sähkölinojen vierimetsä -projekti

Sähkölinojen vierimetsä -projektissa pyrittiin löytämään keinoja, joilla voitaisiin parantaa metsässä kulkevien keskijännitteisten ilmajohtojen toimintavarmuutta. (Tapio 2015) Projekti käynnistettiin vuonna 2012 Enerגיעollisuus ry:n, TEM:n ja sähköjakeluyhtiöiden toimeksiannosta. (Tapio 2013c) Projektin tarkempina tavoitteina oli luoda ajantasaista tietoa keskijännitteisten ilmajohtojen vierimetsistä, selvittää toimenpiteiden taloudellisia vaikutuksia sähköverkkoyhtiöille kuin metsänomistajillekin sekä kehittää toimintamalleja vierimetsänhoidon suunnitteluun ja toteutukseen. (Tapio 2013b)

Projektin tuloksina saatiin uutta tietoa vierimetsien määrästä ja sen ominaisuuksista. Vierimetsiä tutkittaessa projektissa käytettiin metsävara-aineistoa, jota Metsäntutkimuslaitos tuottaa valtakunnan metsien monilähdeinventoinnilla (VMI). Nämä tiedot yhdistettiin maanmittauslaitoksen keskijännitteisten sähkölinojen aineistoon, jolloin aineistosta rajattiin 40 metrin kaistat linojen molemmin puolin. Saadut kaistat jaoteltiin vuoden 2012 mukaisilla kuntarajoilla, jolloin saatiin tiedot jaettua tarkemmin alueellisesti. Metsävara-aineistosta muodostettiin viisi erilaista tunnusta, joissa on esitetty määrät linjan pituuden mukaan. Projektidokumenttien mukaan kolme näistä voidaan käyttää vierimetsien hoitotarpeen arvioinnissa. Nämä kolme tunnusta ovat maaluokittainen jakko, metsän pituusluokat puulajivaltaisuuksittain sekä taimikon ja nuoren metsän hoitotarve. Kahta muuta käytetään arvioimaan taloudellisia vaikutuksia, jotka syntyvät normaalista metsänhoidosta poikkeavista käsittelytavoista. Nämä ovat pituusluokat kasvupaikoittain ja puuston määrä (m^3/ha) pituusluokittain. (Tapio 2013a)



Kuva 15. Metsämaalla sijaitsevien kyläjohtojen osuus kylälinjan kokonaispituudesta (Tapio 2013a).

Saadut aineistot on esitetty myös kunnittaisesti havainnollistavina kuvina, kuten esimerkiksi kuvassa 15 on esitetty metsämaalla sijaitsevien keskijännitteisten sähköjohtojen osuus koko linjan pituudesta. Kuvasta nopeasti voidaan huomata erot Itä-Suomen metsäisien alueiden ero Länsi-Suomeen, jossa muun muassa peltoaukeaa on huomattavasti enemmän. Tulosaineistot ovat saatavilla Excel-tiedostoina, jolloin muun muassa verkkoyhtiöiden on mahdollista tulkita omaa verkkoaluettaan tarkemmin, kuten myöhemmin tämän työn luvussa kahdeksan on tehty.

Projektissa tuotettiin myös käsikirja vierimetsänhoitoon, jossa esitetään vierimetsänhoitoprojektin eri vaiheet käynnistämisestä aina toteuttamiseen. Käytännön toteutusta tarkastellaan tarkemmin luvussa 5.3. (Tapio 2013c) Projektissa laskettiin myös vierimetsänhoidosta aiheutuvia tulonmenetyksiä metsänomistajalle erityyppisissä sekä erikasvu-vaiheessa oleville metsille. (Tapio 2013f)

Kokonaisuudessaan projektin toteutus ja tulokset olivat suunnattu sähköverkkoyhtiöille ja sen tuloksia olisi mahdollista hyödyntää vierimetsänhoitoprojektien suunnittelussa ja toteutuksessa. Kuitenkaan tuloksia ei ole laajamittaisesti hyödynnetty ainakaan suurim-

pien verkkoyhtiöiden päivittäisessä toiminnassa, vaikka tuloksia onkin tarkasteltu. Tämä kävi ilmi lukuun 5.3.2 tehdyistä sähköverkkoyhtiöiden haastatteluista. Ainoastaan Pohjois-Karjalan Sähköstä mainittiin, että tuloksia on hyödynnetty (Tuovinen 2015).

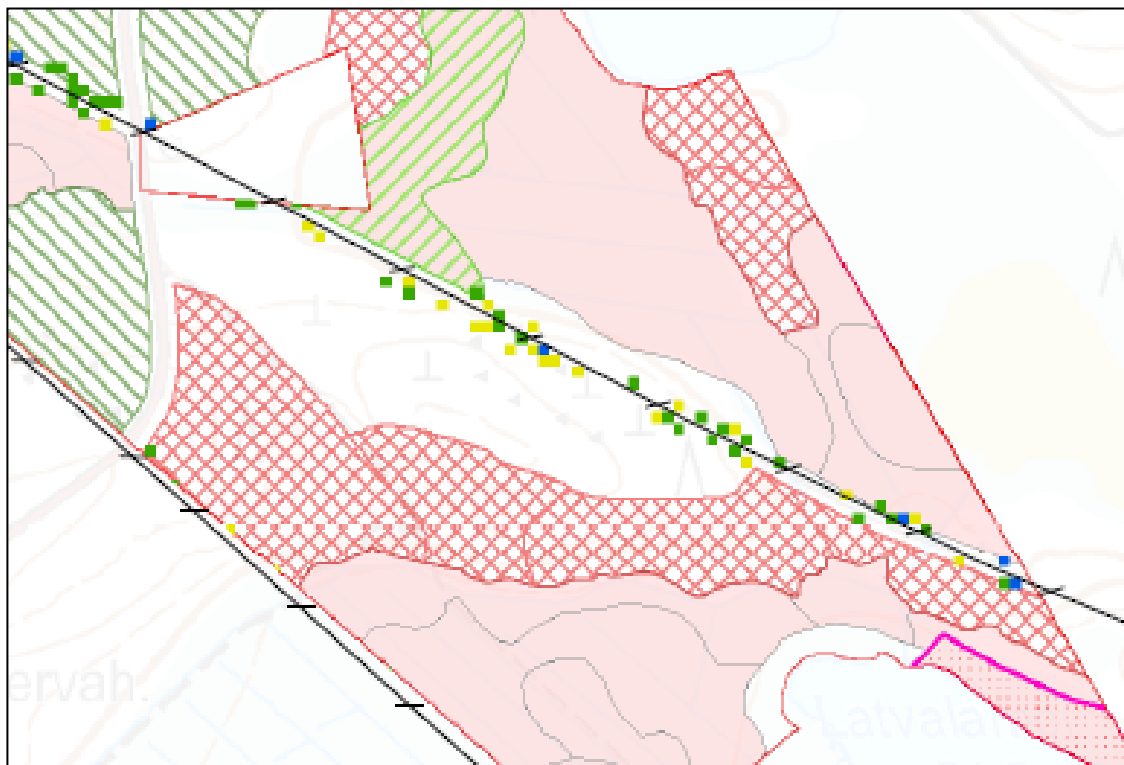
5.2.2 Tuuli- ja lumituhojen ennakointi -projekti

Tuuli- ja lumituhojen ennakointi -projektissa pyrittiin analysoimaan vierimetsien aiheuttamia tuhoriskejä keskijännitteisille ilmajohdoille sekä radanvarsille. Vahinkojen ennalta ehkäisemiseksi projektissa pyrittiin löytämään toimenpiteitä, joilla puustoa vahvistavat toimenpiteet voitaisiin kohdistaa paremmin. Projektin yhtenä päätavoitteena oli parantaa elinkeinoelämän toimintavarmuutta ennaltaehkäisemällä sähkönjakelun ja liikenteen keskeytyksiä sekä nopeuttamalla näiden korjauksia. Samalla pyrittiin edistämään metsänomistajien ja muiden toimijoiden, kuten sähköverkkoyhtiöiden, yhteistyötä. Konkreettisesti projektissa lähdettiin kehittämään metsäkeskuksille toimintamallia, jolla voitaisiin laserkeilausta ja metsävara-aineistoa hyödyntämällä tehdä riskianalyyskejä vierimetsien puustoista. (Ruokanen 2015)

Vaikka toimintamallin kehittäminen oli projektissa hyvin suurena osana ja sen kohdeyrymänä erityisesti oli liikennevirasto ja verkkoyhtiöt, tehtiin projektissa myös huomattava määrä työtä metsänomistajien ja muiden metsäalatoimijoiden, kuten puun ostajien, kanssa. Projektissa tuotettiin uutta materiaalia vierimetsistä kouluttamiseen ja tiedottamiseen ja näitä lähetettiin maanomistajille yhdessä riskipuukarttojen kanssa. Projektista järjestettiin myös useita metsänomistajatilaisuuksia, joissa tietoisuutta aiheesta lisättiin. Projektissa järjestettiin myös kuukauden ajan puhelin- ja maastoneuvontaa metsänomistajille vierimetsien hoidosta. (Ruokanen 2015)

Uuden riskikohteiden selvittämisen toimintamallin avulla saadaan tuotettua melko tarkkaa tietoa sisältäviä riskikarttoja. Toimintamallissa kuitenkin ei ole lainkaan automaatiota, vaan se perustuu metsäkeskusten AARNI metsävaratietopalvelun ja ArcMap ohjelman manuaaliseen käyttöön. Toimintamalli on siis käytännössä menetelmäohje, kuinka eri ohjelmistoja käyttäen voidaan riskianalyysi toteuttaa. Tämä yksityiskohtainen ohjeistus mahdollistaa eri puolilla Suomea toimivien metsäkeskusten riskipuukarttojen luomisen. (Maaranto & Saari 2014) Seuraavalla sivulla kuvassa 16 on esitetty karttamateriaalia, jota toimintamallilla on mahdollista toteuttaa. Kyseisessä kuvassa on punaisella rajattu yksi metsätila, jonka läpi kulkee keskijänniteilmajohto. Tilan alueet on metsänomistajaa varten jaoteltu metsäkuvioiden ja hakkuu- ja hoitotarpeet on esitetty erivärisin viiva- ja ruutukuvioiden, jotka merkittiin projektissa metsätilanomistajille lähetettyihin riskipuukarttoihin. Verkkoyhtiöille toimitetussa materiaalissa hoitotarpeet ovat nähtävissä vain linjaan ulottuvilla metsäkuvioilla. Tärkeimpänä kuvassa kuitenkin on linjan viereltä havaittavissa olevat eriväriset pisteet. Pisteet kertovat väriyksellään kuinka monta metriä puu kaatuessaan ylittäisi sähkölinjan eli pisteet esittävät löydettyjä riskikohteita. Keltaiset pisteet tarkoittavat puita, joiden latva juuri ylittää linjaan, kun taas

vihreät pisteet tarkoittavat puita, jotka kaatuessaan ylittävät linjan 2-5 metriä ja siniset 6-9 metriä. (Maaranto 2015)



Kuva 16. Malli riskipuuanalyysin tuloksista maanomistajalle lähetetyssä muodossa (Maaranto 2015).

Projektissa tuotettiin eri verkkoyhtiöille ja liikennevirastolle yli 2000 kilometriä valmista kartta-aineistoa, jossa on riskikohteet esitetty. Aineistolla pyrittiinkin tarkastelemaan kehitetyn toimintamallin luotettavuutta muun muassa maastokäyntien avulla. Joka vuosi myös valmistuu uutta ajantasaista metsävaratietoa, joten uusia alueita on mahdollista tarkastella vuosittain. (Ruokanen 2015)

Riskipuukartat antavat tarkan kuvauksen puiden pituudesta keskijänniteverkon varrella ja antavat yleiskuvan mahdollisista riskeistä. Kartat eivät kuitenkaan ota huomioon mitään muita riskitekijöitä kuin puun pituuden. Kuitenkin puuston tyypillä ja harvennushistorialla on suuri vaikutus riskin suuruuteen, kuten luvussa 5.1 jo esitettiin. Puuston pituus on yksinään myös haastava lähtökohta vierimetsänhoidon suunnitteluun, sillä kj-verkkoa ei ole rakennettu puuvarmaksi, jolloin suurella osalla metsässä sijaitsevalla linjalla esiintyy tämän projektin määrittelyn mukaisia riskikohteita.

Nämä projektin aineistot kuitenkin antavat yleiskuvan vierimetsänhoidon suunnitteluun verkkoyhtiöissä, mutta suurimman hyödyn projektista todennäköisesti saivat maanomistajat, joille järjestettiin runsaasti tiedotusta jopa henkilökohtaisesti. Yhden metsätilan riskipuukarttaa on myös todennäköisesti mahdollista hyödyntää paremmin, kuin vastaavia verkkoyhtiöille toimitettuja laajoja kartoja, joissa on esitetty verkkoa useiden kym-

menien kilometrien säteellä. Toimintamallin käytön kannalta esimerkiksi mahdollisuus ajaa tietoa verkkotietojärjestelmään sekä työn automaation lisääminen saattaisivat helpottaa tietojen soveltamista käytäntöön verkkoyhtiössä, erityisesti jos riskipuumäärittelyä on mahdollista tarkentaa.

5.2.3 Toimitusvarmuuskannustin regulaatiomallissa

Energiavirasto, joka toimii Työ- ja elinkeinoministeriön alaisena sähköjakeluverkko liiketoimintaa valvovana viranomaisena, muutti uuden 1.9.2013 voimaan tulleen sähkömarkkinalain myötä sähköjakeluverkon haltijoiden valvontamenetelmiä 1.1.2014. Valvontamenetelmällä, eli regulaatiomallilla, tarkoitetaan mallia, jonka mukaan määritellään onko sähköjakeluverkon haltijan hinnoittelu ollut kohtuullista. Malli ottaa huomioon monia eri tekijöitä sähköverkkoliiketoiminnassa ja valvontamenetelmien viimeisin muutos koskettaa hyvin läheisesti tämän diplomityön aihetta. (Energiavirasto 2014)

Kolmannen valvontajakson 2012–2015 viimeiselle kahdelle vuodelle valvontamalliin lisättiin uusi toimitusvarmuuskannustin. Kannustin on lisätty valvontamenetelmiin sähkömarkkinalaissa tiukentuneiden toimitusvarmuuskriteerien vuoksi, joiden mukaan jakeluverkon vioittuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena ei saa aiheuttaa asema-kaava-alueella yli 6 tunnin sähköjakelun keskeytystä eikä muulla alueella yli 36 tuntia kestävää keskeytystä, muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta. Vaikka toimitusvarmuuskriteerit tulevat täytettäväksi portaittain, on sähköjakeluverkon haltijoiden investoitava sähköverkkoonsa aiempaa enemmän ja panostettava sähköverkon kunnossapitoon ja varautumiseen. (Energiavirasto 2014)

Toimitusvarmuuskannustimessa otetaan huomioon toimitusvarmuuden parantamiseksi tehtävät uudet kunnossapito- ja varautumistoimenpiteet sekä ennenaikaiset korvausinvestoinnit. Nämä uudet kunnossapitoimenpiteet ovat diplomityön kannalta kiinnostavin osuus toimitusvarmuuskannustimessa. Vierimetsänhoidon tason nostaminen on yksi valvontamallissa esitetyistä kohtuullisista kunnossapidon uusien toimenpiteiden eristä. Uusiin toimenpiteisiin ei voida laskea muun muassa johtoalueeseen kohdistuvia toimenpiteitä. Toimitusvarmuuskannustimeen lisättäviä kustannuksia ei voida sisällyttää myös innovaatiokannustimeen. (Energiamarkkinavirasto 2013)

Toimitusvarmuuskannustimen vaikutus otetaan valvontamallissa huomioon verkon haltijan verkkotoiminnan toteutunutta oikaistua tulosta laskettaessa. Tämä oikaistu tulos määrittää verkonhaltijan hinnoittelun kohtuullisuuden. Verkonhaltijan eriytetyn tilinpäätöksen liikevoitosta/-tappiosta vähennetään toimitusvarmuuskannustimen vaikutus, joka saadaan laskemalla yhteen ennenaikaisista korvausinvestoinneista aiheutuvat NKA-jäännösarvon, eli komponentin alaskirjaus hetken nykykäyttöarvo, mukaiset alaskirjaukset sekä kohtuulliset kustannukset uusista kunnossapito- ja varautumistoimenpiteistä.

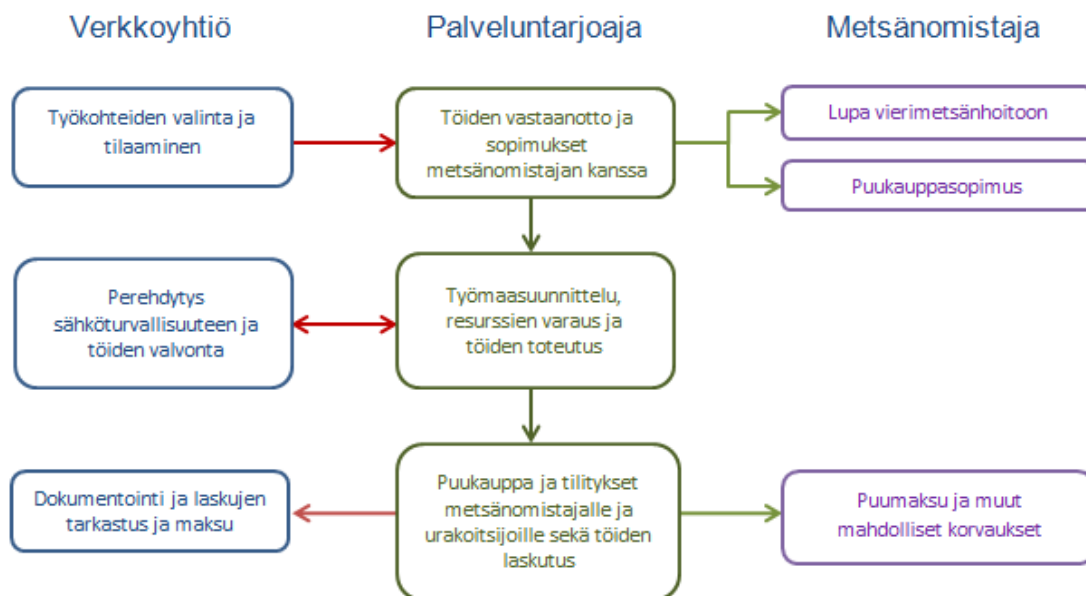
Kokonaisuudessaan oikaistun tulokset laskentaperiaate on esitetty liitteessä 1. (Energiamarkkinavirasto 2013)

Energiavirasto julkaisi helmikuussa 2015 ensimmäiset suuntaviivat neljännelle ja viidennelle valvontajaksolle lausuntokierrosta varten ja heinäkuussa 2015 toiset suuntaviivat. Nämä valvontajaksot käsittävät vuodet 2016–2023. Toimitusvarmuuskannustin tulee säilymään lähes sellaisenaan valvontamallissa kuin se vuosille 2014 ja 2015 on otettu mukaan. Kuitenkin suuntaviivoihin on lisätty esimerkkejä mahdollisista vierimetsänhoitotoimenpiteistä, joita voi sisällyttää toimitusvarmuuskannustimeen. Tällaisina mainitaan muun muassa riskipuiden havainnointi ja vierimetsänhoito taimikko- tai ensiharvennusvaiheessa. Toisissa suuntaviivoissa näihin toimenpiteisiin on tarkennuksena lisätty myös toimenpiteet, joilla voidaan varmistaa ilmajohdon puuvarmuus. Aiemmin toimitusvarmuuskannustimeen sisällytettävistä toimista on vaadittu kustannusten erittely eriytetyn tilinpäätöksen liitetietoina ja tarvittaessa yksityiskohtaisempi raportointi. Tulevassa valvontamallissa vaaditaan yksityiskohtainen selvitys toimitusvarmuuskannustimeen sisällytettävistä toimenpiteistä aina, jotta virasto voi arvioida sen perusteella hyväksytäänkö kustannukset toimitusvarmuuskannustimeen. (Energiavirasto 2015a; 2015b)

5.3 Vierimetsänhoito käytännössä

Vierimetsänhoidossa on useita eri tapoja ja alalle ei ole vielä vakiintunut yhtenäisiä käytäntöjä. Kuitenkin monissa vierimetsänhoitoa tekevissä sekä hoitoa kokeilleissa sähköverkkoyhtiöissä on useita yhteneväisyyksiä menetelmissä. Siksi työssä käydäänkin läpi tärkeimmät työvaiheet, joita vierimetsänhoitoprojektin läpi viemisessä on ja tämän jälkeen esittelen kuinka nämä asiat on toteutettu Eleniassa ja haastatelluissa sähköverkkoyhtiöissä.

Ennen projektin aloittamista tulee tehdä määrittelyt siitä miten tehdään vierimetsänhoito ja mitä siihen sisällytetään. Tällaisia valintoja ovat muun muassa tehdäänkö hoito harvennuksena vai hakataanko linja puuvarmaksi sekä kuinka leveällä vyöhykkeellä hoito toteutetaan. Harkittavana on myös hoidon toteutus eli kuinka suuri osa työstä toteutetaan sähköverkkoyhtiön toimesta vai toteutetaanko täysin avaimet käteen -periaatteella, jolloin urakoitsija toteuttaa kaikki työvaiheet. Kun määrittelyt on tehty, on projektissa seuraavaksi yksi olennaisimmista vaiheista lopputuloksen kannalta. Se on vierimetsänhoidon tarpeen määrittäminen ja kohteiden valinta. Tällöin otetaan huomioon erilaisia tekijöitä kuten vierimetsän aiheuttamia riskitekijöitä, linjan ikä ja kunto, linjalla esiintyvien häiriöiden määrä, mahdolliset kaapelointien/verkon siirtojen suunnitelmat. Se mitä tekijöitä priorisoidaan valinnassa, riippuu sähköverkkoyhtiön toimintatavoista ja strategista. (Tapio 2013c)



Kuva 17. Yksinkertaistettu esimerkki prosessikaavio vierimetsänhoidosta, jossa mukana erillinen palveluntarjoaja.

Kun valitut kohteet ovat selvillä ja hoitotapa on määritelty, voidaan käytännön työ aloittaa joko sähköverkkoyhtiön itsensä tai urakoitsijan toimesta. Kuvassa 17 onkin esitetty yksinkertaistettuna prosessikaavioina kuinka työt jakautuvat, kun työn toteuttajana on ulkopuolinen palveluntarjoaja. Ensimmäisenä toimenpiteenä pitää ottaa yhteyttä vierimetsien maanomistajiin. Tämä kuitenkin vaatii kattavan selvitystyön, jotta linjan varrella sijaitsevien tilojen omistajat saadaan selville. Tapion vierimetsänhoito projektikäsikirjassa todetaan, että työläs kaikille maanomistajille soittaminen maksaa itsensä takaisin myöhemmin projektissa, kun asiat sujuvat joustavammin (Tapio 2013c). Kuitenkin usein käytännössä metsänomistajia lähestytään ensin kirjeitse tulevasta projektista, jossa pyydetään suostumusta vierimetsänhoitoon. Mikäli kirjeeseen ei saada vastausta, ollaan tällöin yhteydessä puhelimitse. Näin esimerkiksi on toimittu Carunalla, jolla kahden vuoden kestoisessa vierimetsä projektissa pitää ottaa yhteyttä noin 20 000 maanomistajaan (Lehtomäki 2015). Samalla kun metsänomistajilta tiedustellaan suostumusta vierimetsänhoitoon, kysytään myös halukkuutta osallistua puiden yhteiskauppaan, mikäli tällaista mahdollisuutta urakan toteuttaja tarjoaa. Tällöin pitää myös kerätä valtakirjat metsänomistajilta puun myyntiä varten. (Tapio 2013c)

Kuten jo tullut esille, ennen kuin päästään aloittamaan töitä metsässä, on erilaisia suunnittelu- ja taustatehtäviä useita. Ne eivät kuitenkaan lopu maanomistajien yhteydenottoihin, sillä myös itse työt tulee suunnitella huolellisesti. Kohteeseen tulee tehdä suunnitelma siitä minkälaisia työmenetelmiä ja -välineitä käytetään ja kuinka puun korjuu toteutetaan. Pitkällä johtolähdöllä vierimetsän olosuhteet voivat vaihdella paljonkin, jolloin nämä tulee ottaa yksityiskohtaisesti huomioon. Lisäksi ennen töiden aloittamista tulee turvallisuusnäkökohdat huomioida tarkkaan ja erityisesti tilanteissa, joissa vierimetsänhoidon toteuttaa metsäalan toimijat, tulee heille antaa riittävä koulutus sähkölin-

jan vierellä työskentelyyn. Kuitenkin ehkä tärkein taustatehtävä on puukaupan sopiminen. Mikäli puuta ei saada kaupaksi, voi se jopa pahimmillaan estää vierimetsänhoito-hankkeen toteutumisen. (Tapio 2013c; Koistinen 2015)

Itse vierimetsänhoidossa on monenlaisia mahdollisia työtapoja ja -menetelmiä, johtuen erilaisista metsistä, maastoista ja kasvuvaiheista. Pääasiassa kuitenkin menetelmät ovat erityyppisiä harvennuksia ja hakkuita metsurityönä tai koneellisesti monitoimikoneella, jota on käsitelty jo luvussa 4.2.2 raivausten osalta. Monitoimikoneen älykkäät ominaisuudet muun muassa runkojen tilavuuden mittaamisesta ovatkin hyvin hyödyllisiä erityisesti vierimetsänhoidossa, jolloin on tärkeää tietää kuinka paljon puuta on kunkin maanomistajan maalta kaadettu. Käytettävät menetelmät voidaan kuitenkin tarkalleen määritellä vasta kohteessa paikan päällä. Vierimetsänhoitoon suurelta osin (riippuu toteutuksen laajuudesta) pätevät kuitenkin samat metsänhoito suositukset, kuin muuhunkin metsänhoitoon. Metsänhoitoa yleisesti on tarkasteltu luvussa 3.

Toteutuksen jälkeen huolehditaan vielä mahdollisen puukaupan tulojen maksatuksesta maanomistajille. Projekteissa tulee myös erikseen sopia kenen vastuulla on dokumentointi vierimetsänhoidosta, joka prosessikaaviossa on merkitty verkkoyhtiön vastuisiin, mutta voidaan myös sisällyttää palveluntarjoajan toimiin. Tämän jälkeen voidaankin suorittaa työn vastaanotto ja siirtyä projektin toteutuksesta seurantaan ja pidemmällä aikavälillä vaikutusten arviointiin.

5.3.1 Vierimetsänhoito Eleniassa

Eleniassa vierimetsänhoitoa ei ole vielä mittavissa määrin aloitettu. Pieniä pilottiprojekteja on tehty useampia ja varsinkin vuoden 2015 aikana on kokeiltu hoitotoimenpiteitä eri alueilla noin 5–12 km osissa. Pyrkimys on, että uuden valvontamallin alusta eli vuoden 2016 alusta lähtien vierimetsienhoito olisi osa suunniteltua normaalitoimintaa. Vierimetsänhoitokohteiden valinta on hyvin tärkeä osa-alue, jotta hoidosta saadaan suurin hyöty irti. Kuitenkaan pilottikohteiden valinnassa ei ole käytetty tarkkaan määriteltyä menetelmää, vaan kohteet on valittu lentotarkastus kuvien perusteella paikoista, joissa on ollut nuorta ja ohutta lehtipuustoa. Kohteita valitessa on huomioitu myös tulevat kaapelointisuunnitelmat. (Salovaara 2015) Valintatavassa on huomioitu oikeita asioita, mutta suuremmassa mittakaavassa toteutettuna tulee kohteiden valinnassa olla tarkka suunnitelma mitä asioita otetaan huomioon ja millä menetelmillä valinnat tehdään sekä minkä kokoisissa osissa hoitoa toteutetaan.

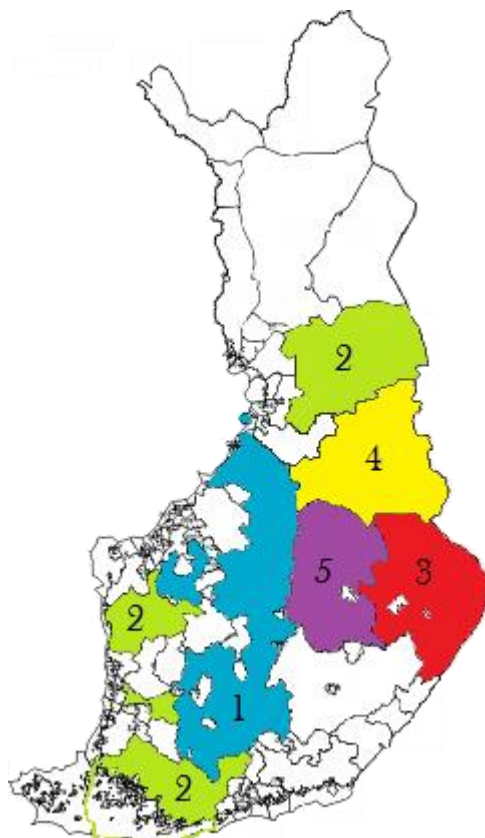
Elenialla toimintatavaksi pilottiprojekteissa on otettu vierimetsässä tehtävä harvennus eikä keskijännitteisessä verkossa ole kokeiltu puuvarmaa sähkönjakeluverkkoa. Harvennuksessa poistetaan riukuuntuneet lehtipuut ja muut huonokuntoiset tai lahot puut. Tämä pääasiassa tehdään kuten metsänhoitosuosituks neuvovat, mutta käytettävästä työmenetelmästä riippuen harvennettavan puun määrä voi hieman vaihdella. Esimerkik-

si motolla tehdyissä paikoissa täytyy johtokadun reunaa harventaa hieman enemmän, jotta työskentely koneella onnistuu turvallisesti. (Koistinen 2015)

Itse pilottiprojektit ovat toteutettu ns. avaimet käteen -periaatteella. Käytännössä tämä tarkoittaa, että urakoitsija hoitaa kaikki kohteiden valinnan jälkeiset toimenpiteet. Urakoitsija ottaa siis selvää valitun hoito kohteen varrella olevat maanomistajat ja hoitaa yhteydenpidon ja sopimusten teon, myös puukaupan osalta, metsänomistajiin koko projektin ajan. Vierimetsänhoidossa käytettävän työtavan urakoitsija päättää itse kohteen olosuhteiden mukaan. Suurin osa pilottikohteiden hoidosta on toteutettu motolla, jonka apuna osassa kohteita on ollut metsuri. Hoidossa on ollut myös kohteita, joihin ei ole ollut mahdollisuutta mennä koneella, jolloin näissä paikoissa vierimetsänhoito on tehty täysin metsurityönä (Koistinen 2015). Urakoitsijalle toimitetussa työohjeessa on eritelty tarkemmin tilaajan ja urakoitsijan vastuut ja tehtävät, jonka mukaisesti vierimetsänhoito toteutetaan. (Elenia 2014b)

5.3.2 Vierimetsänhoito muissa verkkoyhtiöissä

Vierimetsänhoitoa Suomessa mittavissa määrin on aloittanut vain muutama sähköverkkoyhtiö. Tätä työtä varten haastateltiin neljää sähköverkkoyhtiötä, jotka ovat Caruna, Pohjois-Karjalan Sähkö (PKS), Loiste Sähköverkko ja Savon Voima Verkko (SVV). Kaksi ensimmäistä yritystä ovat tehneet huomattavasti vierimetsänhoitoa ja tiedottaneet runsaasti käynnissä olevista hankkeistaan. Jälkimmäiset kaksi yritystä ovat kokeilleet vierimetsänhoitoa vain pieniä määriä. Näillä neljällä yrityksellä on hieman erilaiset lähestymistavat vierimetsänhoitoon, jotka osin selittyvät myös verkkoalueiden sijainnilla ja koolla. Kuvasta 18 nähdäänkin verkkoalueiden sijoittuminen Elenian verkkoon nähdessä, jossa sinisellä on kuvattu Elenian verkkoalue, vihreällä Carunan, punaisella PKS:n, keltaisella Loiste ja violetilla SVV:n.



Kuva 18. Elenian (1: sininen), Carunan (2: vihreä), Pohjois-Karjalan Sähkön (3: punainen), Loiste Sähköverkon (4: keltainen) ja Savon Voiman (5: violetti) jakeluverkkoalueet.

Caruna on aloittanut mittavissa määrin vierimetsien hoidon 2014 vuoden alussa ja yhtämittaisena projektina jatkuu vuoden 2015 loppuun saakka. Se onkin haastatelluista yrityksistä tehnyt eniten vierimetsänhoitoa. Yhteensä Carunalla on tehty noin 2600 km vierimetsänhoitoa kevääseen 2015 mennessä. Kokonaisuudessaan projektissa tullaan tekemään vierimetsänhoitoa noin 5000 km. (Lehtomäki 2015) PKS on myös tehnyt jo suurissa määrin vierimetsänhoitoa. PKS on aloittanut vierimetsänhoidon jo vuonna 2011 perusvierimetsänhoidolla eli johtalueiden vierimetsien harventamisella ja yksittäisten uhkaavien puiden poistolla. Puuvarma vierimetsänhoito aloitettiin vuonna 2013 eli johtokadun ulkopuolella suoritetaan hakkuut. Vuoden 2014 loppuun mennessä vierimetsänhoitoa on tehty noin 300 km verran, mutta vuoden 2015 aikana pyritään hoitoa toteuttamaan noin 1000 kilometriä. (Tuovinen 2015; PKS 2015) Loisteella ja Savon Voimalla molemmilla on tehty vain yksi pilottikohde, mutta tarkoituksena on jatkaa toimintaa. Molempien hankkeet ovat olleet pituudeltaan 40 -50 km luokkaa. Molemmissa yrityksissä on kuitenkin tavoitteena tehdä jatkossa vuosittain muutamia satoja kilometrejä vierimetsänhoitoa. (Tervo, M. 2015; Miettinen 2015)

Vierimetsänhoidolle ei ole luotu yksiselitteistä määrittelyä, joka mainitaan jo luvun 5 alussa. Siksi myös sähköverkkoyhtiöillä toimenpiteet ulottuvat vierimetsiin eri tavoin. Suuremmissa määrin vierimetsien hoitoa tehneillä on tehty tarkat määrittelyt muun mu-

assa vierimetsän leveydelle. Vähemmän hoitoa tehneistä Loiste Sähköverkosta ja Savon Voimasta kerrottiin, että tarkempi vierimetsien määrittely on vielä kesken. (Tervo, M. 2015; Miettinen 2015) Vierimetsänhoitoa tehdään Carunassa 20 metrin leveydeltä johtokadun ulkopuolella ja metsästä poistetaan puut, jotka aiheuttavat uhkaa sähköjakelulle. Tällaisiksi on määritelty riukuuntuneet, linjalle päin kallistuneet sekä huonokuntoiset puut. (Caruna 2014; 2015) Puolestaan PKS:ssä vierimetsänhoito on ulotettu 15 metrin leveydelle johtokadun ulkopuolelle. (Tuovinen 2015; PKS 2015)

Vierimetsänhoidon kohteiden valinnassa on yhtiöiden välillä eroja menetelmissä, mutta hyvin tärkeänä pidetään jokaisessa haastatelluista pitkän tähtäimen suunnittelua. Käytännössä tämä tarkoittaa siis, että hoitoa ei toteuteta alueilla, joihin on suunniteltu kaapelointeja tai muita saneeraustöitä lähivuosien aikana. Laajemmassa mittakaavassa soveltuvia vierimetsänhoitokohteita on Carunalla valittu hyödyntämällä lentokuvausmateriaaleja, joista talon sisäisesti on tehty analyysi. Valinnassa on myös hyödynnetty Metlan metsävara-aineistoja. PKS:llä ei analyysimenetelmiä vielä ole käytössä, mutta asia on selvityksessä, kun vuoden 2015 aikana valmistuu koko verkkoalueen lentokuvaus. Tällä hetkellä kohteet on valittu muun muassa sijainnin, vikahavaintojen ja verkoston iän perusteella. Loiste Sähköverkolla puolestaan on vierimetsänhoidon osalta tehty yhteistyötä paikallisen metsäkeskuksen kanssa, jolloin vierimetsänhoitoon on tehty luvun 5.2.2 mukaista analyysiä. (Lehtomäki 2015; Tuovinen 2015; Tervo, M. 2015)

Keskimääräiset puunkertymät ovat verkkoyhtiöillä hyvin erilaiset, sillä maantieteelliset erot ovat suuret. Myös kertymät ovat vahvasti riippuvaisia siitä, kuinka voimakkaasti vierimetsää harvennetaan eli minkälaisia menetelmiä käytetään. Tarkkoja laskelmia puun kertymismääristä ei ollut saatavilla, mutta saaduista varovaisista arvioistakin huomataan kertymissä selviä eroja ja samankaltaisuuksia. Carunalla puuta poistuu metsistä työmenetelmistä ja metsien tiheydestä riippuen 10–50 m³/km. Metsurityönä tehdyssä vierimetsänhoidossa määrä on keskimäärin ollut muutamassa kymmenessä kuutiossa kilometriä kohden, mutta monitoimikoneella tehdyssä vierimetsänhoidossa jo moton liikkumisenkin takia määrä on hieman suurempi. (Lehtomäki 2015) PKS:llä määrät ovat olleet keskimäärin noin 50–70 m³/km ja puuvarmaa tehdessä määrät lähes kolminkertaistuvat. (Tuovinen 2015) Pilotin puolesta Loiste Sähköverkolla ei ollut tehty vielä haastatteluun mennessä tarkkoja laskelmia, mutta arviolta määrät pilotissa vaihtelivat 50 – 130 m³/km. Suurimmat määrät tulivat päätehakkuutasoisesta vierimetsänhoidosta eli käytännössä puuvarmaksi tehdyistä kohdista. (Tervo, M. 2015)

Maanomistajien suhtautumisella on vierimetsänhoitoon suuri vaikutus. Yleisesti vastaanotto on kuitenkin ollut hyvin positiivista mikä on huomattavissa sähköverkkoyhtiöiden vastauksista. Maanomistajat Carunan verkkoalueella ovat pääasiassa ottaneet vierimetsänhoidon hyvin vastaan ja suurin osa antaakin suostumuksensa vierimetsänhoidolle. Maanomistajia lähestytään ensin kirjeitse ja niihin, jotka eivät ole vastanneet kirjeeseen otetaan puhelimitse yhteyttä. Kieltäytymiset vierimetsänhoidosta ovat yleisimmin tulleet sellaisista paikoista, joissa ollaan pihapiirien lähellä. Carunassa on koettu, että

tärkeimpiä asioita maanomistajien suostumuksien saamiseen on ollut hyvin suuret panostukset selkeään viestintään siitä mitä ollaan tekemässä, puun poistokuljetukset metsästä sekä mahdollisuus osallistua puun yhteiskauppaan. Pieniä yksittäisiä puumääriä voi olla vaikeaa saada myydyksi, joten yhteiskaupalla saa puun varmasti kaupaksi. Lisäksi jos puita ei kuljetettaisi pois metsistä, se jäisi maanomistajan vastuulle ja pahimassa tapauksessa puut jäisivät maastoon, jolloin ne ovat toimivat pesimäpaikkoja tuhohyönteisille. (Lehtomäki 2015) Samoin kuin Carunalla myös PKS:llä maanomistajat ovat suhtautuneet hyvin myönteisesti vierimetsänhoitoon. Yli 90 % maanomistajista on suostunut hoitotoimenpiteisiin. Kuitenkin puuvarmana tehdyn linjan osuus vaihtelee huomattavasti projektien sisällä, sillä hakkuut toteutetaan pääasiassa varttuneissa kasvatuseksikoissa ja uudistuskypsissä metsissä. Puuvarmuusprosentti tilatuilla johtolähdöillä onkin keskimäärin muutamia kymmeniä prosentteja ja loppuosa toteutetaan ns. perusvierimetsänhoitona. (Tuovinen 2015; PKS 2015) Suopeimmat maanomistajat vaikuttavat olleen Loiste Sähköverkon alueella, jossa pilottikohteen varrella olleista maanomistajista kaikki olivat suostuneet hoitotoimenpiteisiin. (Tervo, M. 2015) Toki on huomioitava, että vajaassa 50 km johtopituudella on huomattavasti vähemmän maanomistajia kuin tuhansien kilometrien projekteissa, jolloin kieltäytymisetkin ovat todennäköisempiä. Maanomistajille maksettavissa korvauksissa on myös hieman eroja. Carunalla, Savon Voimalla sekä Loisteella erillisiä korvauksia vierimetsänhoidosta ei asiakkaalle makseta vaan hyöty tulee siinä, että urakoitsijat hoitavat puiden poiston sekä kuljetuksen metsästä tien varteen. Tällöin myös asiakas saa myydessään puun tienvarsihinnan, koska ostajan ei tarvitse erikseen kerätä puita metsästä kuten pystykaupassa. Näillä yhtiöillä tarjotaan samalla mahdollisuutta osallistua puiden yhteiskauppaan. (Caruna 2014; Lehtomäki 2015; Tervo, M. 2015; Miettinen 2015) PKS puolestaan lupaa maanomistajille hieman markkinahintoja suuremman korvauksen kaadetusta puustosta, joka toimii kannustimena suostua vierimetsänhoitoon. Puuvarmana tehdyssä vierimetsänhoidossa kannustin on ollut euromääräisesti suurempi, sillä siinä maanomistajat eivät hyödy samalla tavalla metsän kasvun kautta kuin harvennuksena tehdyssä vierimetsänhoidossa. Puuvarmoiksi tehdyiltä alueilta on myös maksettu erillistä uudistamiskorvausta. (PKS 2015; Tuovinen 2015)

Kaikissa yhtiöissä vierimetsänhoito projektit ovat toteutettu lähes avaimet-teen -periaatteella. Yhtiöt ovat toimittaneet urakoitsijalle tiedot hoidettavista kohteista, jonka jälkeen urakoitsija hoitaa kaikki projektin käytännön asiat, kuten esimerkiksi yhteydenotot maanomistajaan. Carunalta kuitenkin todettiin, että vierimetsänhoidon konseptoinnin ollessa vielä kesken, on projektin ohjauksessa tarvittu omia resursseja enemmän kuin oli osattu odottaa. Urakoitsijana kaikilla yrityksillä oli ollut joko metsänhoitoyhdistys tai muu metsäpalvelualan yritys. Tätä yhteistyötä on pidetty toimivana, sillä heillä on valmiina tarvittavat tiedot ja taidot niin metsänhoidollisiin toimenpiteisiin kuin puukauppaankin. (Lehtomäki 2015; Tuovinen 2015; Tervo, M. 2015; Miettinen 2015)

Yleisesti yhtiöissä on pidetty vierimetsänhoitoa hyvänä toimenpiteenä ja maanomistajat ovat olleet sille hyvin myönteisiä. Tärkeänä tekijänä vierimetsänhoidon onnistumiseen pidetään riittäviä kannustimia maanomistajille, sillä ilman näitä heitä olisi hyvin hankala saada suostumaan projekteihin. Puumarkkinatilanteen heikot näkymät nousivat useissa haastatteluissa esiin. Siksi onkin erittäin tärkeää varmistaa ennen vierimetsänhoidon aloittamista, että harvennettavalle puulle löytyy myös ostaja. Kuitenkin tehdyistä haastatteluista huomataan selvästi, että vierimetsänhoito on vielä kovin uutta, ja siksi toimintamallit hakevat vielä muotoaan eikä tarkkoja tietoja vaikutuksista ole vielä saatavilla.

6. SÄHKÖVERKON LENTOTARKASTUKSET

Luvussa 2 todettiin, kuinka sähköverkon haltijan tulee seurata verkon kuntoa. Kunnonvalvonta on perinteisesti tehty kävelytarkastuksilla. Kävelytarkastuksissa nimensä mukaisesti kävellään koko verkkoa ja tarkastaja kirjaa puutteet ja viat tarkastuspöytäkirjaan. Tarkastukset näin ovat kuitenkin melko hidasta ja kaikkia pylvään latvassa olevia vikoja ei välttämättä huomata. Siksi viimeisen kymmenen vuoden aikana verkkoyhtiöt ovat enenevässä määrin ottaneet käyttöön sähköverkon lentotarkastukset. Niitä käytetään sekä korvaamaan kävellen tehtävät kuntotarkastukset että suurhäiriön aikaiseen vianpaikannukseen.

Lentotarkastus- ja ilmakuvausmenetelmät ovat kiinnostavia diplomityön kannalta, sillä Eleniassa verkon kuntotarkastukset ovat tehty jo vuodesta 2008 lähtien lentotarkastuksilla. Kunnossapitostrategiaan onkin määritelty, että tarkastukset pyritään lähtökohtaisesti tekemään ilmakuvauksina ja vain johto-osuuksille, joita ei ole voitu kuvata, tehdään perinteinen kävelytarkastus. (Elenia 2014c; 2015) Ilmakuvaukset ovat vakiintuneet jo kuntotarkastuksiin ja niitä hyödynnetään muissakin toiminnoissa. Siksi onkin kannattavaa tarkastella eri ilmakuvausmenetelmä ja niiden mahdollisuuksia ja alan kehitysuuntaa. Samalla on mahdollista arvioida nykyisten ilmakuvauksen hyödyntämistä ja vaihtoehtoisten menetelmien hyödyntämispotentiaalia.

6.1 Lento- ja ilmatarkastusmenetelmät

Sähköverkolle tehtäviä tarkastuksia on mahdollisuus tehdä useilla erilaisilla menetelmillä. Seuraavissa alaluvuissa käsitelläänkin neljää erilaista. Luvussa 6.1.1 esitellään vanhin menetelmistä: tarkastustyö suoraan helikopterista, jonka jälkeen käsitellään luvussa 6.1.2 tarkastusmenetelmä, jossa verkko kuvataan kokonaan helikopterista. Näitä kahta voidaan pitää menetelmistä perinteisempinä vaihtoehtoina, kun taas alalukujen 6.1.3 ja 6.1.4 miehittämättömät ilma-alukset ja satelliitti ja muu ilmakuvaukset ovat kehityksen kärjessä perinteisempien vaihtoehtojen haastajina. Nämä eivät vielä kuitenkaan täysin korvaa vakiintuneempia menetelmiä, mutta näitä on kannattava tarkastella työssä, niiden huomattavan potentiaalin vuoksi.

6.1.1 Tarkastustyö suoraan helikopterista

Perinteisesti helikopterista tehdyssä lentotarkastuksessa verkon kuvaaminen ei ole ollut olennainen osa. Tarkastustyön on tehnyt alan ammattilainen suoraan helikopterista kirjaten huomautukset ja puutteet ylös joko paperiseen pöytäkirjaan tai tietokoneelle ja

joissakin tapauksissa suoraan verkkotietojärjestelmään. (Paananen & Rajala 2013) Osassa suoraan helikopterissa tehdyissä tarkastuksissa on kuitenkin otettu kuvat vika-paikoista. Tätä tarkastusmenetelmää käytetään myös häiriötilanteissa, jolloin kerätään tilannetietoa häiriön laajuudesta ja verkon vikapaikoista. Kyseistä tarkastusmenetelmää käytetään useissa verkkoyhtiöissä, mutta Elenialla tarkastusmenetelmä on enää käytössä vain häiriölentojen osalta.

Suoraan helikopterissa tehtävässä tarkastustyössä helikopterissa lentäjän lisäksi toimii siis myös sähköalan ammattilainen, jolla on riittävä koulutus tehdä verkon kuntotarkastuksia. Tämä henkilö on häiriötilanteissa usein sähköverkkoyhtiön tai sitä edustavan urakoitsijan työntekijä. Näissä tarkastuksissa helikopteri lentää hyvin matalalla verkon yläpuolella, jotta sieltä on mahdollista havainnoida verkon vikoja ja puutteita. Myös helikopterin tulee lentää hitaasti, jotta tarkastajalle jää riittävästi aikaa havainnoida esimerkiksi pylvään latvassa sijaitsevien eristimien kuntoa. Tämä lisää kuitenkin huomattavasti tarkastuksessa tarvittavien lentotuntien määrää, jolloin myös kustannukset nousevat. (Paananen & Rajala 2013) Häiriölennoilla puolestaan lentonopeutta voidaan kasvattaa, sillä havainnoitavia asioita on vähemmän. Häiriölennoilla kustannuksiin oman lisänsä tuo se, että helikopteri on saatava käyttöön mahdollisimman nopealla aikataululla.

Mikäli tarkastuksen yhteydessä otetaan valokuvat vioista ja puutteista, voidaan niitä hyödyntää työtilauksien yhteydessä. Näin voidaan täsmällisesti osoittaa mistä puutteesta on kyseessä ja mitä sen korjaaminen vaatii. Kuitenkin haasteena on suuri yksittäisten kuvien määrä, jolloin niiden kohdistaminen esimerkiksi oikealle pylvälle voi olla hyvin työlästä. (Paananen & Rajala 2013) Kuvia ei voida kuitenkaan hyödyntää kovin laajasti, sillä yksittäisestä kuvasta ei saada laajempaa näkemystä ympäristöön (Salovaara 2015).

Erityisesti suurhäiriötilanteissa helikopterin käyttö nopeuttaa vianpaikannusta, koska sillä voidaan helposti todeta kuinka monta vikapaikkaa johtolähdöllä on ja missä kohdalla. Tällöin säästytään turhilta kävelymatkoilta vianpaikannuksessa ja työryhmä voidaan lähettää suoraan oikeaan paikkaan. Samoin myös voidaan helikopterista todeta, minkälaisesta viasta on kyse, jolloin viankorjausryhmä osaa partioidessaan varustautua suoraan oikeanlaisilla materiaaleilla, kuten kiireettömimmillään työtilauksilla. Häiriölennoilla on oleellista saada tiedot vikapaikoista mahdollisimman nopeasti, jolloin kuntotarkastuksissa käytettävät pöytäkirjat eivät ole nopein tapa. Sähköisesti tätä tietoa on ladattu järjestelmiin usein vasta lentojen jälkeen, mutta reaaliaikaisesti saatava tieto tällaisissa tilanteissa hyödyttää eniten. Siksi monet tarkastuslentoja tarjoavat yhtiöt ovatkin alkaneet kehittää omia järjestelmiään, joilla saadaan siirrettyä reaaliaikaista tarkastustietoa helikopterista joko suoraan käytöntukijärjestelmään tai muuna karttapohjaisena tietona.

6.1.2 Koko verkon kuvaus

Lentotarkastuksissa koko verkon kuvauksella tarkoitetaan menetelmää, jossa helikopterilla lennetään verkonalue ja siitä saadaan kuvamateriaalia koko matkalta. Käytännössä tämä tarkoittaa, että kuvamateriaalit ovat tarkasteltavissa myöhemmin käyttöön soveltuvalla tietokoneohjelmalla, jolloin voidaan niin sanotusti ”lentää” kuvamateriaali uudelleen. Kuvamateriaali voi olla suoraan videomuodossa tai tiheästi otettuina valokuvina, jolloin ne toimivat ikään kuin videona. Tällöin itse verkon tarkastustyötä ei tehdä lennon kanssa samanaikaisesti vaan lennon jälkeen toimistotyönä kuvamateriaalista.

Helikopterista voidaan tuottaa useita erilaisia kuvakulmia ja -materiaaleja. Esimerkiksi Elenialla käytössä oleva kuvaustekniikka ja kuvankäsittelyohjelmistot ovat Visimind AB:n (myöhemmin Visimind) tuottamia, jossa helikopterissa on mukana useita eri kameroita sekä laserkeilain. Käytännössä samasta kohdasta verkkoa saadaan kuvasarjana yleiskuva laajemmalta alueelta, tarkemmat zoom-kuvat helikopterista eteen- ja taaksepäin, 3D-kuva verkosta ja laserkuva. Laserkeilaus verkosta mahdollistaa muun muassa verkon etäisyyksien mittauksen ja aineistosta tehtävän automaattisen raivausanalyysin, jota on tarkemmin käsitelty luvussa 4.3. Kaikki kuvat yhdistetään myös gps-koordinaatteihin, jolloin kohteet ovat helposti paikannettavissa. Materiaaliin voidaan myös yhdistää verkkotietojärjestelmästä löytyvät komponenttien tiedot, jolloin mahdolliset puutteet ja viat voidaan suoraan liittää oikeille komponenteille.

Koska tarkastustyö tehdään vasta toimistolla kuvamateriaalista, ei helikopterissa tarvita ohjaajan lisäksi kuin kuvausjärjestelmän käyttäjä. Koska manuaalista tarkastusta ei helikopterista tehdä kuten kappaleen 6.1.1 tapauksessa, voidaan helikopterilla lentää huomattavasti nopeampaa. Tämä tekee työstä kustannustehokkaampaa, sillä lentokustannukset muodostavat suurimman osan tarkastusten hinnasta. Ilmakuvista tehdyssä tarkastuksissa saadaan myös tasalaatuista tarkastusmateriaalia koko verkkoalueelta verrattuna esimerkiksi kävellen tehtyihin tarkastuksiin. Tämä johtuu siitä, että kävellen tehdyissä tarkastuksissa on täytynyt olla suuret määrät tarkastajia, jolloin tarkastajien subjektiiviset näkemykset vaikuttavat tarkastustuloksiin enemmän ja alueellinen vertailtavuus on hankalampaa. Ilmakuvista tehdyissä tarkastuksissa tarvitaan vain muutama tarkastaja, jolloin alueet ovat toisiinsa vertailtavissa ja kuvien avulla tarkastustulosten oikeellisuutta on mahdollista arvioida. (Paananen & Rajala 2013)

Kuvamateriaalia voidaan myös helposti hyödyntää havaittujen puutteiden ja vikojen korjauksessa samalla tavoin kuin luvun 6.1.1 yksittäisten kuvien osalta. Kuitenkin puute- tai vikapaikkojen yksilöinti on helpompaa, kun tarkastusvaiheessa voidaan jo yhdistää kuva verkkokomponentin verkkotietojärjestelmästä löytyvän ID-numeron kanssa. Koko verkon kuvaus ei hyödytä ainoastaan verkon kuntotarkastusta, sillä kuvamateriaalia koko verkosta voidaan hyödyntää useilla muillakin tavoilla. Esimerkiksi Elenialla kuvamateriaalia käytetään kunnossapidon lisäksi verkon suunnittelussa ja teknisessä asiakaspalvelussa. Kuvien myötä voidaan siis tehdä tarkempia verkoston muutossuunni-

telmia sekä palvella asiakkaita paremmin. Lisäksi kuvat vähentävät yhtiön omien työntekijöiden maastokäyntejä. (Paananen & Rajala 2013)

Koko verkon kuvaus ei kuitenkaan sovellu täysin verkon kuntotarkastuksiin ja siinä löytyy omat haasteensa. Kuvamateriaalista ei voida tehdä pylväiden lahotarkastuksia lainkaan, jotka perinteisesti kävellen tehdyssä kuntotarkastuksessa on helppo havainnoida. Siksi tarvitaan myös erillisiä lahoisuustarkastuksia, joko järjestelmällisesti kunnossapito-ohjelman mukaisesti tai vähintäänkin alueilla, joissa kyseistä ongelmaa on esiintynyt. (Paananen & Rajala 2013)

6.1.3 Miehittämättömät ilma-alukset

Miehittämättömistä ilma-aluksista käytetään useita eri nimityksiä, jotka yleensä ovat riippuvaisia aluksen rakenteesta. Erilaisia nimityksiä puhekielessä ovat esimerkiksi lennokit, lentorobotit ja pienoishelikopterit. Robotti nimitystä käytetään yleensä laitteistoista, jotka ovat puoli- tai täysautomaattisia, kun taas perinteisesti harrastuskäytössä olleet pienoishelikopterit ja lennokit ovat radio-ohjattavia. Alalla vakiintuneemmaksi yleisnimeksi näille on kehittynyt UAV (Unmanned Aerial Vehicle) eli miehittämätön ilma-alus. Myös lyhennettä UAS (Unmanned Aerial/Aircraft System) eli miehittämätön ilma-alusjärjestelmä, käytetään, kun halutaan korostaa esimerkiksi ohjauksen, maaseman ja tietoliikenneyhteyksien tärkeyttä, pelkästään lentävän osan sijaan. (Tervo, J. 2014) Suomessa viranomaissäädöksissä käytetään kuitenkin tarkennettua määritelmää RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) eli kauko-ohjatun ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmä (Trafi 2015a).

Miehittämättömillä lennokeilla on pitkä historia harrastekäytössä ja niitä on käytetty muun muassa yleisötapatumien kuvaamiseen. Kaupallisessa käytössä niitä on aiemmin ollut melko vähän, mutta kehitys on vauhdittunut huomattavasti sotilassovellutuksien kautta. (Tervo, J. 2014) Kuvassa 19 on esitetty muutama esimerkki rakenteeltaan erilaisista miehittämättömistä ilma-aluksista.



Kuva 19. Kaksi erityyppistä RPAS alusta. Vasemmalla kauko-ohjattava quadrokopteri kameralla ja oikealla helikopterimallinen RPAS. (Pixabay 2015)

Ilmakuvaus on Suomessa pääosin sallittua (kiellettyjä esimerkiksi sotilaskohteet). Kuitenkin lentotoiminta on tarkemmin säänneltyä, poikkeuksena tähän ovat pitkään olleet miehittämättömät ilma-alukset. Tämä on johtunut pitkälti ilma-alusten nopeasta kehityksestä, jolloin lainsäädäntö ei ole pysynyt ajan tasalla. Ilmailulaki muuttui syksyllä 2014 ja se ottaa osin myös kantaa miehittämättömiin ilma-aluksiin, mutta lakimuutoksen suurimpana syynä oli ilmatilan rakenteen uusiminen. Vaikka lakiin on tehty useita lisäyksiä kauko-ohjattavilta ilma-aluksilta vaadittaviin asiakirjoihin ja lupiin, ne kuitenkin tulevat voimaan vasta myöhemmin erikseen säädettävällä valtioneuvoston asetuksella. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi, joka toimii Suomen ilmailuviranomaisena, vastaa lakiin perustuvista tarkemmista säädöksistä ja lentotoiminnan valvonnasta. (Ilmailulaki 864/2014) Miehittämättömien ilma-alusten ja lennokkien määräykset pyritään Suomessa saattamaan käytäntöön syksyn 2015 aikana. Kyseiset määräykset ovat tulleet julkisuuteen lausunnoille toukokuun 2015 alussa. Uusissa määräyksissä keskitytään pääasiassa VLOS -lentoihin eli näköyhteydellä tehtäviin lentoihin. Tämä siis rajoittaa toiminnan enintään 500 metrin päähän kauko-ohjaajasta tai tähystäjästä. Samoin myös lentokorkeus on rajattu alle 150 metriin eli ns. valvomattomaan ilmatilaan. BVLOS -lentoihin, eli näköyhteyden ulkopuolella tapahtuviin lentoihin, ei ole uusissa määräyksissä otettu erikseen kantaa. Tämä tarkoittaa siis, että BVLOS -lennot vaativat jatkossakin muulta ilmailulta rajoitetut alueet. (Trafi 2015a) Ilmatilan varaaminen ei kuitenkaan ole nopea prosessi, sillä ilmatilanvaraushakemus tulee jättää Trafille 10 viikkoa ennen tarvittavaa varausta. (Trafi 2015b) Sähköverkkojen kannalta tämä tarkoittaa, että miehittämättömiä ilma-aluksia ei käytännössä pystyittäisi käyttämään perinteisissä kuntotarkastuksissa helikopterin korvaajana ainakaan toistaiseksi. Tämä johtuu puhtaasti siitä, että tarkastettavan verkon määrän ollessa suuri (Elenialla KJ-ilmajohtoa vajaa 20 000 km), alle 500 metrin näköyhteydellä lentäminen veisi huomattavan määrän aikaa siirtymisineen. Häiriötilanteissa vianpaikannuksessa alle 500 metrin matka voi olla riittävä, jolloin hyödyntämistä näissä tilanteissa on syytä arvioida tarkemmin.

Riippumatta määräyksistä ja säädöksistä, RPAS laitteistojen käytössä on myös teknisiä haasteita. Haasteita tulee niin käytännön lentoajoissa kuin laitteiston vakaudessakin. Lentoaika riippuu huomattavasti käytettävästä laitteistosta ja varsinkin siitä onko kyseessä polttomoottori vai akkukäyttöinen laitteisto. Käytännössä polttomoottorilla on varustettu perinteiset miehittämättömät helikopterit, kun taas keveissä lentoroboteissa käytetään sähköä varastoituna akkuihin. Toiminta-ajat vaihtelevat tällöin tyypistä ja tarpeesta riippuen kymmenistä minuuteista muutamaan tuntiin. (Tervo, J. 2014) Lentoaika luo haasteita käytettävyyteen ja laitteiston vakaus luo haasteita saatavan tarkastusmateriaalin laatuun. Laserkeilausaineistolla pienet heilahtelut eivät vaikuta, sillä keilauskulma voi olla jopa 300 astetta, mutta kuvamateriaalissa pienikin heilahdus voi johtaa siihen, että linjaa ei näy lainkaan kuvissa. (Salovaara 2015) Haasteet näkyvät myös osin kustannuksissa, sillä harrastelijakäyttöön kevyen ilma-aluksen voi saada jo muutamalla sadalla eurolla, mutta vaatimustason ja mahdollisten kuvauslaitteistojen mukaan kustannukset nousevat helposti useisiin kymmeniin tuhansiin euroihin (Hassinen 2013).

Miehittämättömissä ilma-aluksissa on myös hyötyjä perinteisiin helikoptereihin nähden, erityisesti häiriötilanteissa. RPAS-laitteistot ovat pieniä, helposti ja nopeasti käyttöönotettavissa, kun taas perinteiset helikopterit valmisteluineen ovat huomattavasti hitaammin käyttöönotettavissa. Sähköverkkoyhtiöille tällä on erityisesti merkitystä, sillä mikäli vianrajaukseen käytettävää aikaa pystytään lyhentämään, pienenee myös katkoista aiheutuvat kustannukset. ST-poolin teettämässä ”Lentorobotit sähköverkon tarkastuksissa” selvityksessä on tarkasteltu tarkemmin laitteistojen soveltuvuutta sähköverkon tarkastuksiin. Selvityksessä on arvioitu kustannussäästöpotentiaalia helikoptereihin verrattuna. Näköyhteydellä tehdyissä paikallisissa tarkasteluissa lentorobotit ovat selvityksen mukaan moninkertaisesti halvempia kuin miehitetyt helikopterit. Puolestaan näköyhteyden ulkopuolelle ulottuvissa pitkissä tarkastuslennoissa eivät RPAS-järjestelmät pysty kilpailemaan hinnassa. Yhtenä mainittavana etuna sähkökäyttöisillä RPAS-laitteistoilla on, että ne voidaan nähdä myös ympäristöystävällisempänä vaihtoehtona verrattuna miehitettyihin tai polttomoottorikäyttöisiin miehittämättömiin helikoptereihin. (Tervo, J. 2014)

6.1.4 Satelliitti- ja muut kolmannen osapuolen ilmakuvat

Perinteisesti sähköverkkoyhtiöt ovat kuntotarkastuksiinsa, häiriötarkasteluihin ja raivaustarkasteluihin käyttäneet puhtaasti miestyövoimaa tai helikopteritarkastuksia. Kuitenkin monista lähteistä on saatavilla kuvamateriaalia sähköverkosta, mutta näitä ei ole juurikaan hyödynnetty aiemmin. Tällaisia materiaaleja ovat esimerkiksi satelliitti- ja ortokuvat (mittatarkka ilmakeku). Ymmärrettävää on, että kuntotarkastuksiin näitä ei ole hyödynnetty, sillä kuvamateriaalista tulisi erottaa alle 1 senttimetrin kokoisia objekteja, johon esimerkiksi satelliittikuvilla ei ainakaan toistaiseksi päästä. Häiriö- ja raivaustarkasteluissa ei kuitenkaan tarvita näin tarkkaa erottelukykä, sillä havainnoitavat kohteet ovat pääasiassa puita.

Ulkoisten kuvamateriaalien hyödyntämisessä voidaan tarkastella lyhyen ja pitkän aikavälin kehitystä. Lyhyellä aikavälillä voidaan puhua yksittäisten kohteiden tarkastelusta erilaisista valmiista kuvapalveluista, kuten Google Maps tai Bing Maps. Pitkällä aikavälillä voidaan puolestaan puhua koko verkkoa koskevista automaattisista analyyseistä esimerkiksi satelliittikuvien perusteella. Yhtenä esimerkkinä tällaisesta pitkän aikavälin kehitystyöstä on ESA:n (European Space Agency) alainen projekti satelliittikuvien hyödyntämisestä sähköverkkojen kunnossapidossa ja häiriötilanteissa. Projektin toteuttajana on suomalainen Sharper Shape yhdessä Paikkatietokeskuksen kanssa. Yhteistyössä projektissa on ollut muun muassa Fingrid, Caruna ja Elenia. Projektissa on tehty keväällä 2015 toteutettavuustutkimus, jonka perusteella kesäkuussa 2015 tehdään päätös jatkosta demonstraatiohankkeen osalta. (ESA 2015) Satelliittidatan hyödyntäminen on alana kasvussa ja toimijoita alalla on useita edellä mainitun esimerkin lisäksi. Tutkimusta aiheen parissa siis tehdään, joten kuvien mittava ja automatisoitu hyödyntäminen voi olla

mahdollista jo muutamassa vuodessa myös sähköverkkotoiminnassa. Tässä työssä otetaan kuitenkin tarkemmin esiin lyhyellä aikavälillä käyttöön soveltuvat mahdollisuudet.

Julkisesti saatavilla olevien palveluiden kuvien laatu ja tarkkuus vaihtelee huomattavasti. Samoin sillä on suuri merkitys, kuinka usein materiaalit päivittyvät. Tarkasteluissa tarvitaan mahdollisimman tuoreita kuvia, koska laadukkaat ja tarkat kuvatkaan eivät auta mikäli ne ovat useita vuosia vanhoja. Suomen leveysasteilla riittävän päivitystiheyden saavuttaminen voi olla haasteellista, sillä kuvien ottajilla on suurempi mielenkiinto pienemmällä leveysasteilla, joissa myös asutusta on enemmän. Juuri päivitystahdin takia kansainvälisten suurten ja ennen kaikkea ilmaisten palveluiden käyttö sähköverkon tarkasteluihin ei ole toistaiseksi kannattavaa.

Suomessa parhaiten on hyödynnettävissä maanmittauslaitoksen tuottamat ortokuvat. Näiden päivitysväli on alueesta riippuen 3-10 vuotta ja vuosittain uutta materiaalia syntyy noin 80 000–100 000 km². Kuvien maastoresoluutio on pääasiassa 0,5 m ja osassa paikoista jopa 0,25 m. Kuvat ovat avointa dataa ja ne ovat ladattavissa maanmittauslaitoksen avoimen datan palvelusta tai katsottavissa suoraan internetin karttapalveluissa. Tällä hetkellä kuvia näyttäviä palveluita ovat ainakin Paikkatietoikkuna ja Kansalaisen Karttapaikka. (Maanmittauslaitos 2015) Tarkastellessa kuvien katseluun tarkoitettuja palveluita huomataan, että Paikkatietoikkuna on näistä kahdesta käytettävyydeltään parempi ja palvelu sisältää myös muita karttapohjaisia tietoja, kuten maakuntakaavat ja pohjavesialueet. Haittana on, että ohjelma ei näytä ortokuvista niiden kuvausvuotta toisin kuin Kansalaisen Karttapaikka, jossa kuvausvuosi näytetään automaattisesti. Kuvausvuodet ovat myös saatavissa maanmittauslaitoksen sivuilta pdf-tiedostona, jossa kerrotaan kunkin vuoden toteutuneet kuvaukset sekä tulevalle vuodelle suunnitellut kuvaukset.

Ilmaiset palveluiden tarkkuudet eivät kuitenkaan riitä 20 kV verkon tarkasteluihin. Ongelmana ei ole erottelukyky vaan puista lankeavat varjot. Nämä varjot tummentavat johtokadun usein niin pahasti, ettei siitä varmasti pystytä toteamaan johtokadun kasvillisuutta. Suurjännitteisen jakeluverkon 110 kV:n ja sitä suurempien jännitetasojen johdoilla varjot eivät ole enää suuri ongelma. Tällöin johtokadun leveys on niin suuri, että lankeavat varjot eivät pimennä johtokatua, jolloin kasvillisuus erottuu hyvin. Seuraavalla sivulla esitetyssä kuvassa 20 on esitetty varjostumisen vaikutus 20 kV ja 110 kV verkkoon.



Kuva 20. Esimerkki varjostumisesta eri jännitetasoilla. Vasemmalla 20 kV ja oikealla 110 kV. Molemmat kohteet ovat raivattu vuonna 2013 ja kuvattu vuoden 2014 aikana. (Paikkatietoikkuna 2015)

Keskijännitteisellä verkolla johtokadun molemmilla puolilla sijaitseva metsä varjostaa johtokadun riippumatta kuvausajankohdasta tai johtokadun suunnasta. Kuitenkin raivauksiin tai häiriötilanteisiin liittyvät tarkastelut pääasiassa ovat metsäisissä olosuhteissa, joten ei ole mielekästä käyttää aikaa siihen, että etsii kohteita, joissa varjostuminen on hyvin vähäistä. Suurjännitteisen jakeluverkon raivausten toteutumista olisikin mahdollista tarkastella tarkkuuden sekä varjostumisen puolesta. Liitteessä 2 on esitetty kuvia, joissa nähtävillä erot raivaamattoman ja raivatun välillä 110 kV:n verkolla. Tarkastelutapana nämä ortokuvat eivät ole täysin reaaliaikaisia ja niissä ollaan riippuvaisia Maanmittauslaitoksen kuvausajatauluista. Kuitenkin tämä menetelmä on mahdollista ottaa käyttöön yhtenä nopeana lisäkeinona työn laadun valvontaan, johon tarvitaan uusia menetelmiä, kuten jo luvussa 4.4 todetaan.

6.2 Lentotarkastusten hyödyntäminen

Lentotarkastusten tärkein tarkoitus on verkon kunnon määrittäminen. Niitä on voitu kuitenkin hyödyntää eri tavoin verkkoyhtiön toiminnassa ja uusien menetelmien myötä syntyy myös uusia mahdollisuuksia. Luvussa 6.1 esitetyissä menetelmissä onkin mainittu jo menetelmien hyödynnyskohteita. Tässä luvussa tarkastellaankin näitä samoja menetelmiä ja tarkastellaan kuinka näitä voidaan hyödyntää paremmin nyt ja tulevaisuudessa raivaus- ja vierimetsänhoitoprosesseissa sekä häiriötilanteiden hallinnassa.

6.2.1 Hyödyntäminen raivaus- ja vierimetsänhoitoprosessissa

Raivausprosessissa lentotarkastuksia hyödynnetään jo nyt aktiivisesti ja tämä onkin komponenttitarkastuksen jälkeen tärkein hyödyntämisen osa-alue. Pääasiassa hyödyn-

täminen raivausprosessissa keskittyy raivaustarpeen määrittelyyn, mutta enenevissä määrin myös raivausten toteutumisen seurannassa pyritään hyödyntämään lentotarkastusmateriaalia. Vierimetsänhoitotarpeen määrittelyä täytyy jatkossa tehdä vuosittain kuten raivaustarpeen määrittelyä, siksi onkin loogista pyrkiä myös tässä lentotarkastusmateriaalista tehtävään analyysiin.

Raivaustarveanalyysiä käsiteltiin luvussa 4.3, jossa käytiin läpi kuinka analyysi erottelee kohteet laseraineistosta. Eritelty analyysi pystyy erottelemaan aineistosta ihmisen tekemät rakennelmat ja puuston toisistaan. Tässä vaiheessa analyysi ei kuitenkaan osaa erotella puustosta niiden tyyppiä esimerkiksi erottamalla lehtipuut ja havupuut toisistaan. (Cortex Ventures 2013b) Tällaisen erottelun tekeminen ei kuitenkaan ole täysin mahdotonta, jonka osoittavat muun muassa metsänmallinnukseen perehtyneet tutkimukset. Esimerkiksi TTY:n matematiikan laitoksella on kehitetty 3D-mallinnustekniikkaa, jolla pystytään luomaan malli jokaisesta metsän puusta, joka kertoo muun muassa mistä puusta on kyse (Koskenlaakso 2015). Tutkimus, joka on vain yksi monista alalla viime vuosina tehdyistä, osoittaa hyvin kuinka laserkeilausmateriaalista on mahdollista saada tarkkaakin tietoa. Vaikka tutkimuksessa käytetyt laserkeilaukset tehtiin maasta käsin, toisin kuin sähköverkkojen lentotarkastuksissa, ovat ne osoitus keilausaineiston analysoinnin mahdollisuuksista. Tekniikka ja menetelmät kehittyvätkin siis siihen suuntaan, että vierimetsäntarveanalyysi voitaisiin tehdä huomioiden puuston tyyppi. Tämän tyyppisillä analyysityökaluilla, joilla voidaan tunnistaa puulajeja tai määrittää muita ominaisuuksia kuten pituutta, pystytään tarkentamaan raivausten ja vierimetsänhoidon suunnittelua.

Toteutuneiden raivausten seurannassa ei lentotarkastuksia ole aiemmin käytetty kovin monipuolisesti hyödyksi. Tarkasteluja on tehty manuaalisesti satunnaisille kohteille, joissa raivaus on tehty lentoa edeltävänä vuonna. Potentiaalia sekä tarvetta on nykyisten kuvausten paremmalle hyödyntämiselle sekä uusien menetelmien käyttöönotolle, kuten mainittu jo luvussa 4.4. Edellisessä kappaleessa tarkasteltujen tarveanalyysien kaltaisesti olisi mahdollista tehdä myös analyysi toteutuneista raivauksista. Tämä vaatisi käytännössä kahden eri lasertiedoston vertaamista toisiinsa, jolloin muutokset pistepilvessä näyttäisivät missä on tapahtunut kasvua ja missä puusto on pienentynyt. Tämänkaltaisella vertailulla näkyviin tulisi myös uudet rakennukset ja rakenteet, jotka ovat liian lähellä sähköverkkoa. Tällaisen tarkastelun suurin haaste on, että se vaatii ns. ylimääräisen laserkeilauksen. (Salovaara 2015)

Vaihtoehtoisesti vastaavan tyyppistä vertailevan analyysin tekemistä satelliittikuvista on myös tutkittu. Tällöin uusia lentokierroksia ei vaadittaisi ilmakuvien saamiseksi vaan vertailuun soveltuvien ajankohtien satelliittikuvien tilaamista. Erityisesti suuret muutokset ovat herkästi havaittavissa kuvista ja pienempiä muutoksia osoittavat kohdat voidaan ottaa kohdennettuun tarkasteluun. Kohdennettuna tarkastus voidaan tehdä esimerkiksi kävellen tai vaikkapa miehittämättömillä ilma-aluksilla, jos on tarvetta tarkemmalle kuvamateriaalille. Tällaisessa onkin tärkeää huomioida ajanhetki, jolloin satelliittikuvat

on otettu. Sillä esimerkiksi lehtipuustolla kohteet ovat vuodenajasta riippuen hyvin erilaisia. (Sharper Shape 2015; Salovaara 2015)

Edellä esitetyt vaihtoehdot perustuvat kaikki vähintään osin automatisoituihin analyysihin, jotka suurimmalta osalta ovat vielä kehitysvaiheessa. Toteutuneiden raivausten seuranta voidaan parantaa myös muilla lento- ja ilmatarkastustavoilla, jotka vaativat manuaalista työtä. Helikopterin lennoilla voidaan tarkastella raivausten toteutumista, jolloin tarkastaja katsoo suoraan helikopterista raivaustilanteen. Näin toteutettu tarkastus vaatii myös ylimääräisen lentokierroksen kuten automaattinen analyysikin, mutta tällöin ei tule erillisiä kuvauksesta koituvia kustannuksia. Luvussa 6.1.4 esitettiin manuaalinen raivausten seurannan mahdollisuus ortokuvista. Tämä onkin hyvä lisämahdollisuus suurempien jännitetasojen tarkasteluihin, mutta keskijänniteverkon tarkasteluihin kyseinen menetelmä ei ole riittävän tarkka.

Yksi mielenkiintoisimmista mahdollisuuksista raivaustarkastelujen saralla on miehittämättömät ilma-alukset. Ongelmana kuitenkin on lainsäädännön asettamat rajoitukset lentää näköyhteydellä alle 500 metrin päässä. Tämä kuitenkin on matkana sellainen, että raivausten toteutumisen havainnointi on melko helposti tehty kävelleenkin. Kuitenkin mikäli viranomaistahot helpottavat BVLOS-lentojen tekemistä, ovat ilma-alukset varteenotettava vaihtoehto myös raivausten tarkasteluissa.

6.2.2 Hyödyntäminen häiriötilanteissa

Lentotarkastuksia on hyödynnetty myös normaalin toiminnan lisäksi häiriötilanteissa erityisesti suurhäiriötilanteissa, joissa on paljon vikoja yhtäaikaaisesti. Tällöin on tärkeää, että vikojen paikantamiseen ei kulu aikaa, vaan resurssit saadaan hyödynnettyä suoraan viankorjaukseen. Nykyinen käytäntö (luku 6.1.1), jossa tarkastaja tekee koneesta merkinnät ja ne saadaan reaaliaikaisesti käyttöön verkkoyhtiössä, on melko toimiva. Sen suurimmat kehityskohteet ovat tiedonsiirrossa helikopterista käytöntukijärjestelmään, eikä itsessään tarkastusmenetelmässä. Vaikka menetelmä on toimiva, kannattaa myös tarkastella muiden menetelmien hyötyjä häiriötilanteisiin samoin kuin vikalentojen hyödyntämistä normaalitoimintaan.

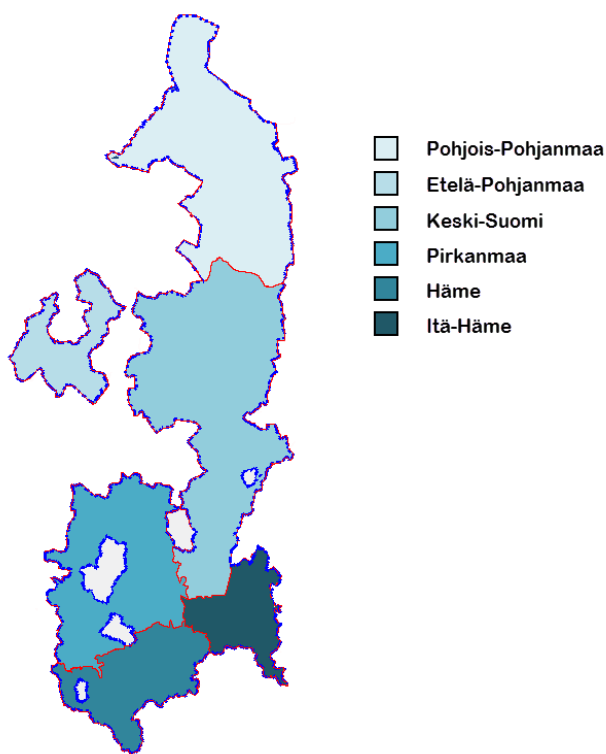
Häiriötilanteet eivät kaikki ole samanlaisia, joten myöskään lentotarkastusten käyttö ei ole aina järkevää. Eri menetelmien hyödyntämisellä voi mahdollisesti skaalata toimintaa paremmin häiriötilanteeseen sopivaksi. Pienemmissä häiriötilanteissa ja jopa yksittäisissä vioissa, joissa ei ole kannattavaa ottaa helikopteria käyttöön, voisi vianpaikannuksessa hyödyntää miehittämättömiä ilma-aluksia. Tällä voisi säästää aikaa vianpaikannuksessa, mutta se edellyttäisi sitä, että urakoitsijalla olisi omassa käytössään RPAS-laitteisto. Tämä kuitenkin vaatisi sellaisia investointeja kalustoon ja kouluttautumiseen urakoitsijan puolelta, että toteuttaminen voi olla laajassa mittakaavassa haasteellista. Yksittäisillä alueilla toteutettuna tämä olisi kuitenkin toteutettavissa oleva idea.

Hyvin laajoissa häiriötilanteissa satelliittikuvat voisivat olla tulevaisuudessa myös osana tilanteen hallintaa erityisesti esimerkiksi laajojen tuuli- ja myrskytuhojen kartoittamisessa. Häiriönaikaisessa käytössä kuvien käyttö on kuitenkin haasteellista, sillä kuvien tulisi olla saatavilla hyvin nopeasti ja esimerkiksi pilvisyys, jota myrskyillä usein esiintyy, estää kuvien käytön. Myrskyjen jälkeen sen sijaan satelliittikuvia on mahdollista hyödyntää, sillä esimerkiksi PAS-johtimet tulisi partioida jokaisen myrskyn jälkeen linjoihin nojaavien puiden varalta. Partioinnin sijaan voisikin siis mahdollisesti käyttää kuvamateriaalia tähän, mikäli riittävän tarkkojen kuvien saanti on kustannuksiltaan kilpailukykyistä partiointiin verrattuna.

Nykyisellään laajemmissa häiriötilanteissa on helikopteritarkastuksissa tarkastaja ottanut muutamia valokuvia, jotta todellisesta tilanteesta maastossa saadaan parempi kuva muun muassa tilannekuvan hallinnassa. Helikopterista voisikin olla mahdollista saada myös normaalitoimintaa hyödyttävää kuvamateriaalia. Mikäli helikopteriin saataisiin liitettyä edes yhdestä kuvakulmasta kuvaava kamera, voisi materiaalia käyttää toteutuneiden töiden seurantaan. Kuten muissa aiemmin esitetyissä vaihtoehtoissa, on kameran lisäyksessä myös omat haasteensa. Nämä haasteet ovat pääasiassa omat säätilaan ja kameran ominaisuuksiin liittyviä. Esimerkiksi korkeat pakkaset voivat olla esteenä kameran käytölle.

7. RAIVAUSMENETELMIEN JA VIERIMETSÄNHOIDON SOVELTUVUUS ELENIAAN

Tämän diplomityön yhtenä tavoitteena on tarkastella eri raivausmenetelmien teknis-taloudellista soveltuvuutta Elenian käyttöön. Samoin myös tarkastelussa on ollut vierimetsienhoito. Tässä luvussa käsitellään eri menetelmien soveltuvuutta vikatilastojen, kustannusten sekä maasto- ja metsäolosuhteiden pohjalta. Tämän luvun pohjalta on luvussa 8 esitetty kehitysehdotukset raivausmenetelmien ja vierimetsänhoidon hyödyntämiseen Elenian sähköjakeluverkossa. Tässä luvussa esitettävät aineistot ovat suurelta osin jaettu alueellisesti perustuen Elenialla käytössä oleviin operointialueisiin. Alueellisella jaottelulla pyritään selkeyttämään vertailuja, vaikka alueiden sisällä löytyy myös suuria eroja. Kuvassa 21 on esitetty verkkoalueen jaottelu kuuteen eri maantieteelliseen alueeseen.



Kuva 21. Elenian verkkoalueen jakautuminen kuuteen operointialueeseen.

Eleniassa on vuosien 2009–2015 aikana pilotoitu koneellisten raivausmenetelmien hyödyntämistä eri puolilla laajaa verkkoaluetta. Helikopterioksittuja keskijännitteisiä johtolähtöjä on noin 15 kappaletta ja monitoimikoneella raivattuja vain kaksi. Suurin osa verkkoalueella tehdyistä helikopteriraivauksista on tehty vuosina 2009–2011, jolloin

myös tehtiin päätös maakaapeloida kaikki uusi ja saneerattava verkko. Otosten pieni määrä sekä muutokset strategiassa ja verkkokuvassa luovat haasteita koneellisten raivausmenetelmien vaikutusten arviointiin. Vierimetsän kohdalla ei voida tarkastella toteutuksen vaikutuksia tilastojen avulla, sillä Elenialla on ollut yksi lyhyt pilottikohde vuonna 2012 ja vasta vuoden 2015 aikana pilotoidaan useampia kohteita ympäri verkkoaluetta. Siksi tässä luvussa vierimetsänhoidon osalta tarkastellaan tekijöitä, jotka osoittavat vierimetsien aiheuttamien riskitekijöitä.

7.1 Keskeytystilastot

Suomessa verkkoyhtiöt tilastoivat sähkökatkoksiaan melko tarkkaan. Luokittelut alkavat tietysti jaottelusta pikajälleenkytkentöihin (PJK), aikajälleenkytkentöihin (AJK) ja itse vikoihin. Jälleenkytkennöillä pyritään välttämään verkon pidemmät keskeytykset, tällöin esimerkiksi oksasta aiheutunut valokaari ehtii poistumaan. PJK:lla voidaan poistaa noin 75 % vioista, AJK:lla noin 15 % vioista ja alle 10 % vioista jää pysyviksi. (Lakervi & Partanen 2009) Tilastoinnissa pysyville vioille merkitään vian aiheuttaja, mikäli se tunnetaan. Vian aiheuttajaluokkia ovat muun muassa ukkonen, tuuli ja myrsky, lumi-kuorman kaatama puu, rakenne tai materiaalit, asennus- tai suunnitteluvirhe ja jne. Sähkökatkoja voidaankin johtolähtökohtaisesti tarkastella ja vertailla keskeytystenmääriä. Keskeytysmääriin on kuitenkin useita eri vaikuttajia, joten kunnossapitotoimenpiteiden onnistumisen arvioinnissa pitää pyrkiä mahdollisimman tarkkaan arvioimaan mitkä muut tekijät ovat vaikuttaneet tarkasteluajanjaksolla. Esimerkiksi kaapeloinnit ja sähköasemien jakorajojen muuttumiset vaikuttavat huomattavasti johtolähtöjen ominaisuuksiin ja vikataajuuksiin, jolloin tilastot eivät ole enää suoraan verrannolliset. Samoin myös sääolosuhteet vaihtelevat vuosittain huomattavasti, jolloin vikataajuuden muutokset voivat johtua esimerkiksi tuulisuuden vuosittaisista vaihteluista.

Keskeytystilastoista on tarkasteltu kunkin johtolähdön kohdalta PJK:n, AJK:n ja vikojen määrää. Keskeytystilastoilla on johtolähdöille laskettu jälleenkytkennöille ja vioille kpl/100 km, ja arvot ennen ja jälkeen raivauksen, jotta johtolähtöjä voidaan vertailla yksiselitteisesti ilman johtolähdön pituuden vaikutusta. Näistä saadaan esitettyä muutokset jälleenkytkentä- ja vikataajuudelle. Tarkasteluissa käytettiin nykyistä verkkotietojärjestelmästä saatavaa pituustietoa ja mahdollisuuksien mukaan raivaushetken johtolähdön pituutta. Raivaushetken pituustietoja on tarkasteltu vanhojen RNA-tietojen (Reliability-based network analysis eli verkon luotettavuusanalyysi) perusteella. Verkkokuvan muutoksien vuoksi näissä oli joillakin johtolähdöillä suuria eroja, joten työssä esitettävät muutokset perustuvat raivaushetken pituuksiin ellei toisin mainita. Tarkasteluissa raivausten osalta oleellisinta on tarkastella jälleenkytkentäaajuuksia, sillä raivauksilla voidaan pääasiassa vaikuttaa näiden määrään. Vikataajuudet on esitetty kaikissa taukoissa, mutta raivaustoimenpiteillä harvoin voidaan estää pysyvien vikojen syntymistä, joten vaihtelut eivät ole suoraan raivauksista riippuvaisia. Lisäksi pysyvien vikojen

kokonaismäärät ovat sen verran pieniä (alle 10 % kaikista keskeytyksistä), että niiden kohdalla jo muutama vika vaikuttaa huomattavasti muutoslukemiin.

7.1.1 Vanhat helikopterioksinat

Helikopterioksintaa on kokeiltu useissa kohteissa ja vanhoihin helikopterioksintoihin tässä työssä on laskettu käytännössä kaikki, jotka on tehty ennen vuotta 2015. Nämä kaikki ovat myös sellaisia, että niille on mahdollista saada vähintään vuoden seuranta-aika oksinnan jälkeen. Tällaisia johtolähtöjä tarkastelussa on kahdeksan kappaletta. Taulukossa 2 on seuraavalla sivulla esitetty muutokset jälleenkytkentä- ja vikataajuuksissa, kun taajuudet on laskettu kahden vuoden ajalta ennen raivausta sekä jälkeen raivauksen. Ongelmallisen muutoksien tulkinnasta tekee se, että johtolähdöille ei löytynyt samoihin aikoihin raivattuja vertailujohtolähtöjä helikopterioksinatun johtolähdön läheltä. Tästä johtuen vertailujohtolähdöt ovat vain sää- ja maasto-olosuhteiden mukaisesti vertailukelpoisia, mutta ei raivaushistorialtaan. Vastaava tarkastelu on tehty johtolähdöille myös vuoden mittaisella ajanjaksolla, mutta raivausajankohdan eriäväisyydet tasoittuvat useamman vuoden tarkasteluissa paremmin. Jokaisella johtolähdöllä on ollut tarkastelussa myös vähintään yksi vertailujohtolähtö samalta sähköasemalta. Taulukot vertailuista lyhyemmällä tarkasteluajanjaksolla löytyvät liitteestä 3.

Taulukko 2. Helikopterioksettujen johtolähtöjen jälleenkytkentä- ja vikataajuuden muutokset kahden vuoden tarkastelujaksolla ennen ja jälkeen raivauksen kpl/100 km, a.

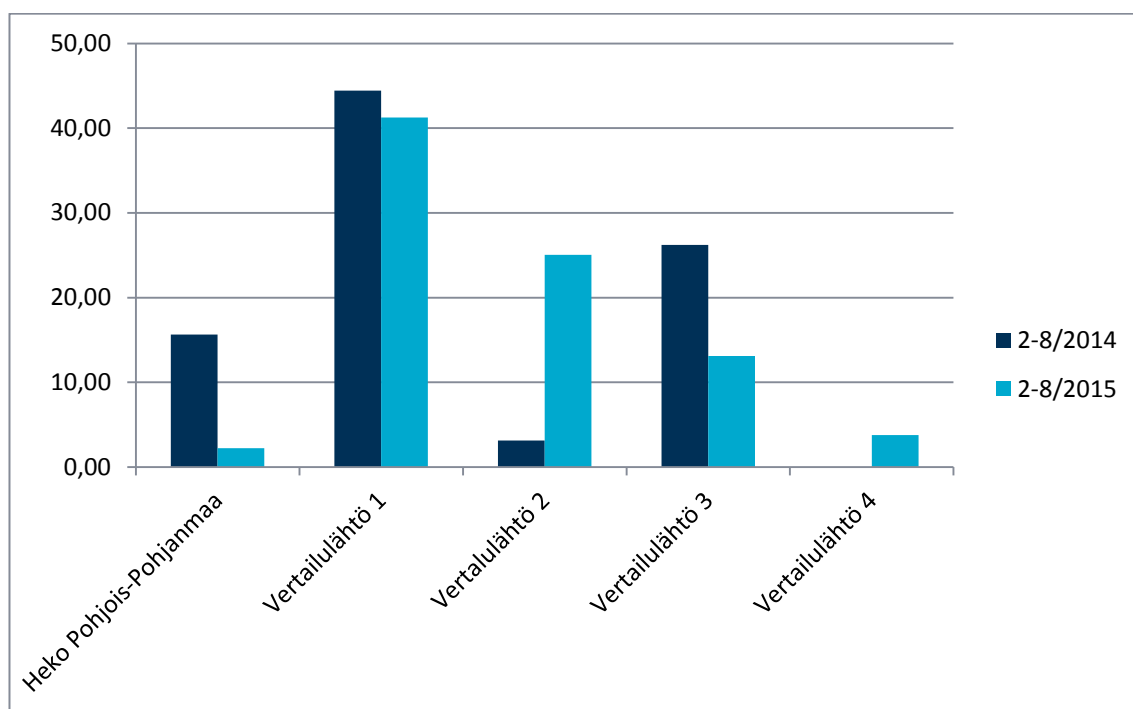
	PJK	AJK	Vika
Heko Keski-Suomi 1	63,7	15,7	-11,0
Vertailulähtö 1	-10,3	-18,1	-20,7
Vertailulähtö 2	13,1	-0,6	-9,4
Vertailulähtö 3	3,1	-3,1	7,6
Vertailulähtö 4	52,0	16,3	9,2
Heko Keski-Suomi 2	43,9	14,8	22,8
Vertailulähtö 1	35,9	9,4	12,6
Vertailulähtö 2	17,3	-1,1	-2,2
Vertailulähtö 3	13,5	16,0	10,1
Vertailulähtö 4	0,0	6,5	11,7
Vertailulähtö 5	51,6	7,0	23,7
Vertailulähtö 6	-44,8	-33,6	11,2
Heko Itä-Häme 1	3,2	2,8	0,0
Vertailulähtö 1	8,3	12,4	9,0
Vertailulähtö 2	-6,3	1,3	16,3
Heko Itä-Häme 2	-31,8	-139,1	-59,6
Vertailulähtö 1	-8,2	5,9	-9,4
Heko Häme	-5,5	0,0	3,7
Vertailulähtö 1	1,1	6,4	6,4
Vertailulähtö 2	0,0	7,2	-14,4
Vertailulähtö 3	20,9	12,2	3,5
Heko Pirkanmaa 1	-4,3	8,0	3,7
Vertailulähtö 1	0,0	3,7	0,7
Vertailulähtö 2	20,7	5,4	3,6
Heko Pirkanmaa 2	17,6	17,6	18,1
Heko Pirkanmaa 3	20,7	10,1	20,7
Vertailulähtö 1	9,4	-1,9	20,7

Taulukossa 2 muutoksen negatiiviset arvot tarkoittavat tilannetta, jossa jälleenkytkentä- ja vikataajuudet ovat pienempi raivaamisen jälkeisellä ajanjaksolla kuin ennen raivausta. Suurimmalla osalla helikopterioksettujen johtolähdöistä ja vertailulähdöistä muutokset ovat samassa suuruusluokassa muutaman kymmenen kappaleen vaihtelulla. Kuitenkin silmiin pistävää on esimerkiksi Itä-Häme 2 -lähden AJK:n muutos, jossa muutosarvo on yli 100 kpl. Tämä muutos ei todennäköisesti ole täysin tekemisissä helikopteri-raivauksen kanssa, sillä Itä-Hämeessä yhden vuorokauden aikana on tullut 10 kpl AJK:ta, kun tarkasteltujen kuukausien AJK määrien vaihteluväli on ollut 0-3 kpl. Muutosta tarkasteltiin myös jättäen huomiotta edellä mainitun vuorokauden sisältänyt kuukausi, jolloin muutos lähes puolittuu. Muutos, -75 kpl/100 km, a, on kuitenkin tämänkin jälkeen huomattava. Yksittäiset tapaukset, joissa vika on uusiutunut, vaikuttavat tilastoihin radikaalisti ja erottuvat lyhyen ajan tarkasteluissa selvästi poikkeavina. Muita tapauksia tarkastellessa ei vertailujohtolähtöjen ja helikopterioksettujen johtolähtöjen ole näin suuria eroja. Heikoimmalta muutokset näyttävät Keski-Suomen johtolähdöillä sekä

Pirkanmaan pohjoisemmilla 2 ja 3 johtolähdöillä. Selvästi paremmalta muutosarvot ovat eteläisimmillä helikopterioksituilla johtolähdöillä, erityisesti Itä-Häme 2, jossa muutos on ollut selkeästi suurempi kuin vertailujohtolähdöllä, jolla myös taajuudet ovat pienentyneet.

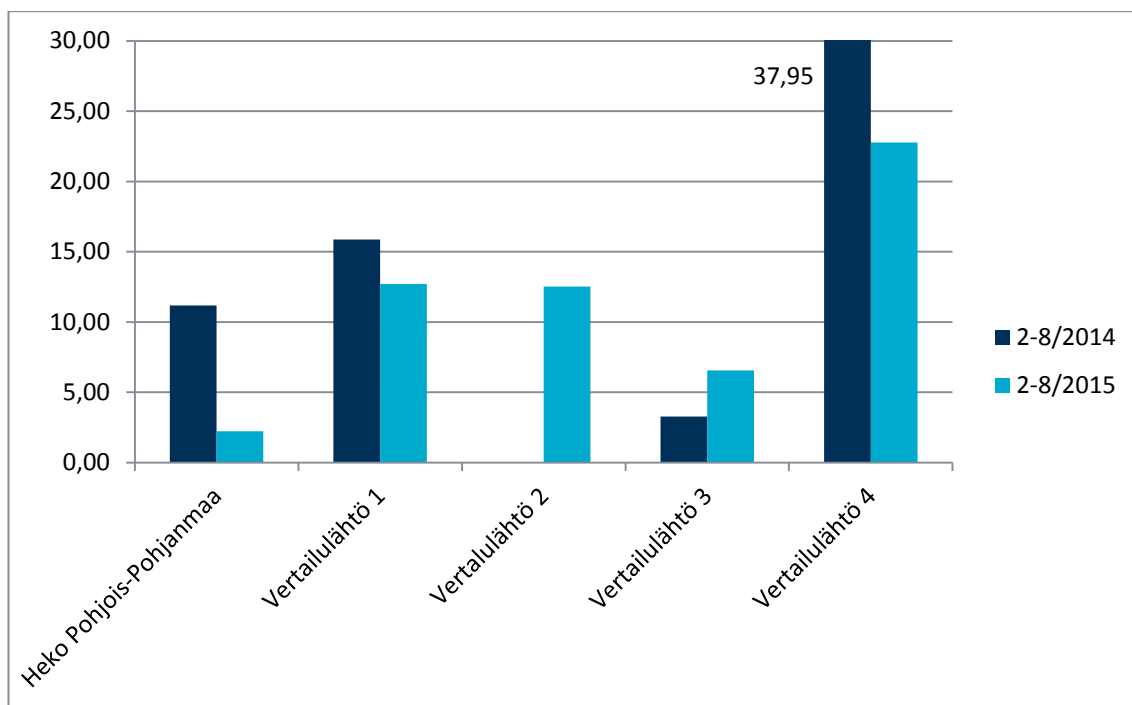
7.1.2 Uudet helikopterioksinnat

Vuoden 2015 tammikuun raskaissa lumikuormissa apuna oli useita helikoptereita, joista yksi teki myös helikopterioksintaa. Oksintaa tehtiin neljän sähköaseman alueella, mutta vertailuun soveltuvia johtolähtöjä on vain kaksi. Tarkasteluun valittiin siis vain sellaiset johtolähdöt, jotka oli oksittu lähes kokonaan. Oksitut alueet ovat aivan Keski-Suomen pohjoisosissa ja Pohjois-Pohjanmaan eteläosissa. Näistä ei vielä tämän työnpuiteissa saada pitkän aikavälin vertailua, mutta niistä on mahdollista tarkastella kuinka ne ovat vaikuttaneet kevään ja kesän vikatilastoihin. Alkuvuoden tilastoja helikopterioksinnan jälkeen on vertailtu koko vuoden 2014 tilastoihin sekä ajallisesti täsmäävään vertailuajanjaksoon vuodelta 2014, jolloin huomiotta jää muun muassa syysmyrskyjen vaikutukset tilastoihin. Kuvaajissa arvot ovat esitetty muodossa kpl/100 km, a, kuten aiemminkin luvussa 7.1.1. Kuvissa 22 ja 23 on esitetty Pohjois-Pohjanmaan helikopterioksinnan jälleenkytkentätaajuudet vuoden 2014 alkuvuoteen verrattuna. Liitteessä 4 on esitetty vastaavat kuvaaja tarkasteltujen alueiden vikataajuuksista.



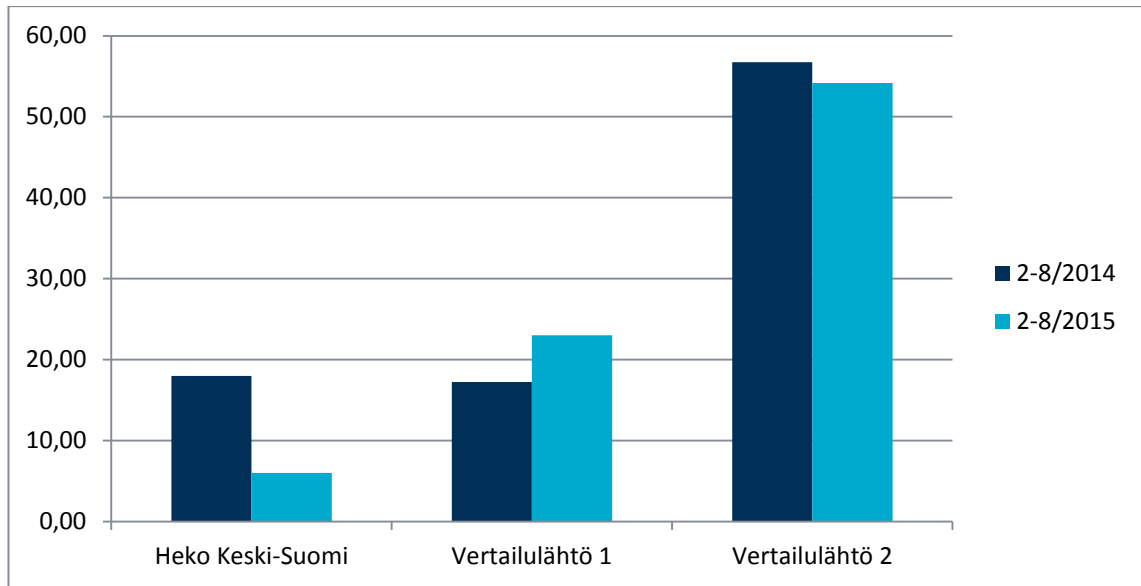
Kuva 22. Pohjois-Pohjanmaalla tehdyn lumikuormahelikopterioksinnan vaikutukset pikajälleenkytkentöihin KJ-ilmajohdon määrään suhteutettuna. Tarkasteluajanjaksona on helmikuusta elokuuhun 2014 ja 2015.

Kuvassa 22 on esitetty pikajälleenkytkentätaajuudet ennen ja jälkeen raivauksen. Kuvasta huomataan selvästi helikopterioksinnan vaikutus, sillä oksitulla johtolähdöllä taajuus on laskenut vain muutamaa PJK:ään 100 kilometrillä vuodessa. Ero on selkeä havaita muihin johtolähtöihin verrattaessa, sillä aiemmin edellä esitetyt johtolähdön on oksittu joulukuussa 2010. Seuraavassa kuvassa 23 on puolestaan esitetty aikajälleenkytkentätaajuudet samalla tavalla kuin edellä pikajälleenkytkennöillä.



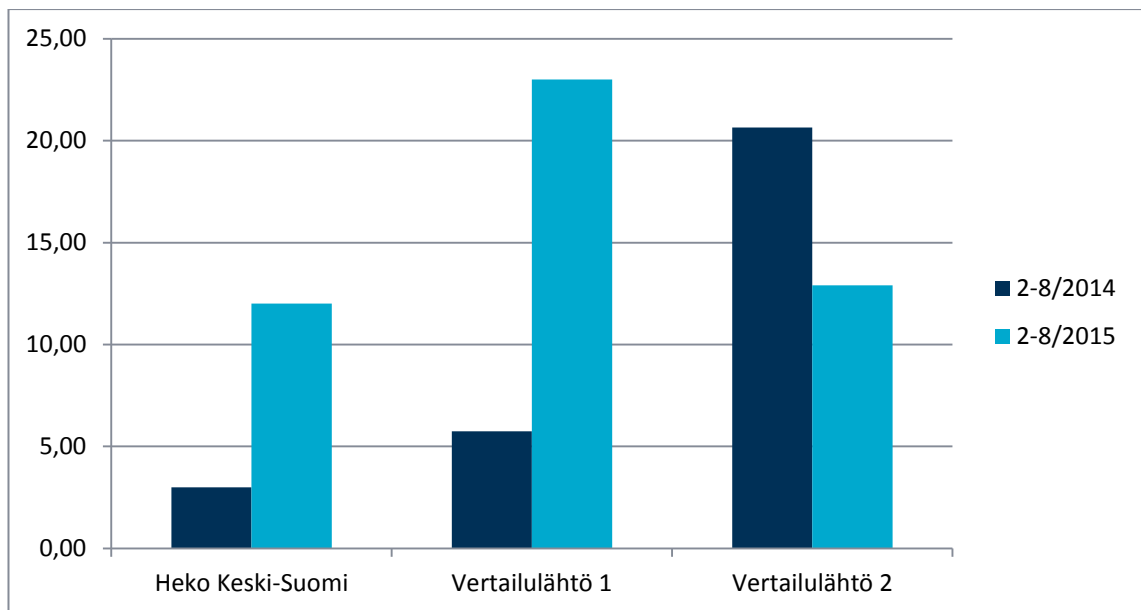
Kuva 23. Pohjois-Pohjanmaalla tehdyn lumikuormahelikopterioksinnan vaikutukset aikajälleenkytkentöihin KJ-ilmajohdon määrään suhteutettuna. Tarkasteluajanjaksona on helmikuusta elokuuhun 2014 ja 2015.

Aikajälleenkytkentätaajuudessa huomataan samanlainen muutos helikopterioksitulla johtolähdöllä kuin PJK:lläkin. Suurempi muutos taajuudessa on toki neljännellä vertailujohtolähdöllä, mutta lähtökohtaisestikin vertailuajanjakson taajuus on tällä lähdöllä ollut huomattavasti suurempi kuin muilla lähdöillä, joten muutokseen on ollut myös enemmän varaa. Kuvissa 24 ja 25 on esitetty Keski-Suomen helikopterioksinnalta vastaavat tilastot.



Kuva 24. Keski-Suomessa tehdyn lumikuormahelikopterioksinnan vaikutukset pikajälleenkytkentöihin KJ-ilmajohdon määrään suhteutettuna. Tarkasteluajanjaksona on helmikuusta elokuuhun 2014 ja 2015.

Myös Keski-Suomessa tehdyssä helikopterioksinnessa vaikutukset pikajälleenkytkentöihin vaikuttaa olleen samanlaiset eli taajuus on laskenut vain muutamaaan pikajälleenkytkentään 100 kilometrillä vuodessa. Kuitenkin kuvassa 25 esitetyt aikajälleenkytkentätaajuudet eivät noudata enää samaa kaavaa. Huomataan, että taajuudet vaihtelevat huomattavasti ja helikopterioksitulla lähdölle myös taajuus kasvaa paljon, vaikkakin helikopterioksitulla johtolähdöllä aikajälleenkytkentätaajuus on ollut lähtötilanteessa jo melko pieni.



Kuva 25. Keski-Suomessa tehdyn lumikuormahelikopterioksinnan vaikutukset aikajälleenkytkentöihin KJ-ilmajohdon määrään suhteutettuna. Tarkasteluajanjaksona on helmikuusta elokuuhun 2014 ja 2015.

Taajuuden vaihteluihin yhtenä vaikuttavana tekijänä on, että johtolähdöt on oksittu edellisen kerran elokuussa 2013. Edellisen oksinnan ja helikopterioksinnan välillä aikaa on siis kulunut vain hieman reilu vuosi ja vertailtavaan ajanjakson alkuun on vain puoli vuotta. Tällöin oksinnalla saatavat hyödyt eivät tule ilmi selkeästi, sillä lähtötilanne on jo erittäin hyvä. Oleellista kuitenkin on tässä kohtaa tuoda ilmi, että oksinta näin pian edellisen oksinnan jälkeen ei ole ollut täysin turhaa. Lumikuormilla tehdyt helikopterioksinnot ovat poikkeuksellisia normaaliin oksintaan verrattuna, sillä lumikuormilla huomattava määrä oksittavasta puustosta taipuu johtokadun ulkopuolelta. Oksittu puusto on siis sellaista, joka ei normaalia oksintaa tehdessä ulotu johtokadun puolelle vaan näihin voidaan ennakoivasti puuttua vain vierimetsänhoidolla.

7.1.3 Monitoimikoneraiivaukset

Monitoimikoneella tehtyjä raivauksia Elenian verkkoalueella on keskijänniteverkossa tehty hyvin vähän. Vertailuun on voitu ottaa vain kaksi johtolähtöä, joka otoksena on hyvin pieni. Näille on kuitenkin tehty samat tarkastelut kuin edellä luvussa 7.1.1 helikopterioksinnalle. Molemmille motolla tehdyille raivauksille on valittu samalta sähköasemalta kaksi vertailujohtolähtöä, jotta voitiin minimoida alueellisten sääolosuhteiden vaihtelut tarkastelussa. Pyrkimyksenä oli myös saada mahdollisimman samankaltaisia ja samoihin aikoihin raivattuja johtolähtöjä. Valitettavasti raivausaikoihin ei ole voinut vaikuttaa, joten erot vertailulähtöjen raivausajoissa tulee huomioida tarkastellessa tuloksia. Edelliset raivausajankohdat ennen vertailtavia raivauksia ei ole tiedossa, joten johtolähtöjen arvioinnissa ei voida tarkastella muutoksien suhdetta raivauskierronpituuteen, kuten luvussa 7.1.4 tarkastellaan.

Keski-Suomen kohteessa vertailujohtolähdöt ovat raivattu vain kaksi kuukautta aikaisemmin, joten vertailulähdöt ovat lähes suoraan vertailtavissa samalla ajanjaksolla. Pirkanmaalla raivatussa kohteessa vertailtavat johtolähdöt ovat raivattu vuoden aiemmin kuin koneellisesti raivattu johtolähtö. Tämän vuoksi vain vuoden ennen ja jälkeen koneellisen raivauksen tehty tarkastelu ei anna vertailukelpoista tietoa. Tarkastelut tehtiin myös pidemmällä ajanjaksoilla Keski-Suomen osalta kahden vuoden osissa ja Pirkanmaalla raivauksen tuoreuden vuoksi vain puolentoista vuoden osissa. Alla esitetyssä taulukossa 3 on esitetty tarkastelun tulokset eli muutokset jälleenkytkentä- ja vikatiheydessä pidempien tarkasteluajanjaksojen välillä.

Taulukko 3. Muutokset jälleenkytkentä- ja vikataajuuksissa muodossa kpl/100 km, a. Tarkasteluajanjakso Keski-Suomessa 2 vuotta ja Pirkanmaalla puolitoista vuotta ennen ja jälkeen koneellisen raivauksen.

	PJK	AJK	Vika		PJK	AJK	Vika
Moto Keski-Suomi	5,6	0,0	-7,8	Moto Pirkanmaa	-27,8	-9,9	-17,9
Vertailulähtö 1	-34,5	-39,2	-22,0	Vertailulähtö 1	7,1	3,6	10,7
Vertailulähtö 2	-13,5	-21,9	5,0	Vertailulähtö 2	8,9	4,5	-13,4

Taulukossa 3 ja 4 muutokset ovat esitetty vastaavasti kuin luvun 7.1.1 taulukossa 2. Taulukkoa 3 tarkastellessa huomataan, että Keski-Suomessa vertailujohtolähdöillä jälleenkytkentäaajuudet ovat selvästi pienentyneet raivausten jälkeen toisin kuin koneellisesti raivatulla johtolähdöllä. Kuitenkin Pirkanmaalla tilanne vaikuttaa täysin päinvastaiselta. Taulukon 3 mukaiset tarkastelut eivät siis osoita yhtenäistä suuntaa monitoimikoneella tehdyille raivauksille. Siksi taulukossa 4 on tarkasteltu raivauksia vuoden mittaisella ajanjaksolla, jossa tarkasteluajanjakso on valittu jokaiselle johtolähdölle täsmällisesti sen raivausajankohdan ympärille.

Taulukko 4. Muutokset jälleenkytkentä- ja vikataajuuksissa muodossa kpl/100 km, a. Tarkasteluajanjakso kaikilla lähdöillä vuosi ennen ja jälkeen raivauksen.

	PJK	AJK	Vika		PJK	AJK	Vika
Moto Keski-Suomi	11,2	8,9	8,9	Moto Pirkanmaa	-17,9	-11,9	-20,9
Vertailulähtö 1	-17,2	-44,0	-19,1	Vertailulähtö 1	-26,8	-21,4	-18,7
Vertailulähtö 2	-30,3	-40,4	3,4	Vertailulähtö 2	13,4	6,7	0,0

Kuten taulukosta 4 huomataan, saadaan tarkasteluajanjakson muutoksella paremmin näkymään myös metsurityönä tehdyn raivauksen muutokset erityisesti Pirkanmaan ensimmäisellä vertailulähdöllä. Taulukon 4 huonona puolena verrattuna taulukon 3 tietoihin on se, että siinä ei huomioida sääolosuhteiden muutoksia eri tarkastelujaksojen välillä. Riippumatta siitä, että taulukko 4 esittää kenties vertailulähdöt optimaalisemmin, se ei kuitenkaan muuta sitä, että tarkasteltavilla johtolähdöillä vaikutukset ovat olleet toistensa vastakohdat vaan suorastaan korostanut tätä eroa.

Monitoimikoneella tehtyjen raivausten vaikutuksesta ei voida siis tämän perusteella tehdä johtopäätöksiä, sillä tarkasteltavat johtolähdöt ovat ristiriidassa toistensa kanssa ja näin pienellä otoksella ei voida todeta tuloksien mahdollisia poikkeavuuksia. Samoin vaikka tulokset olisivatkin olleet yhteneväiset, olisi niihin pitänyt suhtautua varauksella.

7.1.4 Raivaukset metsurityönä

Tässä työssä vertailukohdaksi tarkasteltu myös metsurityönä tehtyjä raivauksia, jotta voidaan nähdä miten raivaukset käytännössä tällä hetkellä vaikuttaa. Tarkasteluun on otettu maantieteellisesti laajalta alueelta kohteita ja eri raivausurakoitsijoiden tekemiä kohteita. Tarkastelussa onkin tärkeä huomioida eri urakoitsijat, sillä raivaajan subjektiivisilla näkemyksillä on metsurityönä tehdessä enemmän vaikutusta kuin koneellisilla menetelmillä. Jokaisesta kohteesta on myös tarkasteltu sen edellisen raivauksen ajankohtaa, sillä liian lyhyellä aikavälillä tehdyllä raivauksella ei muutosta välttämättä näy lainkaan ja puolestaan liian pitkällä raivausvälillä muutos saattaa olla hyvinkin radikaali. Tarkasteltavat raivaukset on tehty vuoden 2014 aikana ja tarkasteluun on otettu kymmenen eri sähköasemaa. Nämä tarkastelut sijoittuvat aluejaottelussa niin, että kaikista muista operointialueista on kaksi sähköasemaa paitsi Etelä-Pohjanmaan ja Itä-Hämeen alueilta on vain yksi. Näillä alueilla kyseisenä vuonna tehtiin vain vähän raiva-

uksia ja alueet ovat myös verkkopituudeltaan pienimmät operointialueet. Taulukossa 5 on esitetty muutaman raivatun sähköaseman tarkastelu ja kaikkien sähköasemien yhteenvetotaulukot ovat nähtävissä liitteessä 5. Taulukkoon 5 on valikoitunut eri alueilta kolme sähköasemaa, joilla raivauskierron pituus eroaa myös toisistaan.

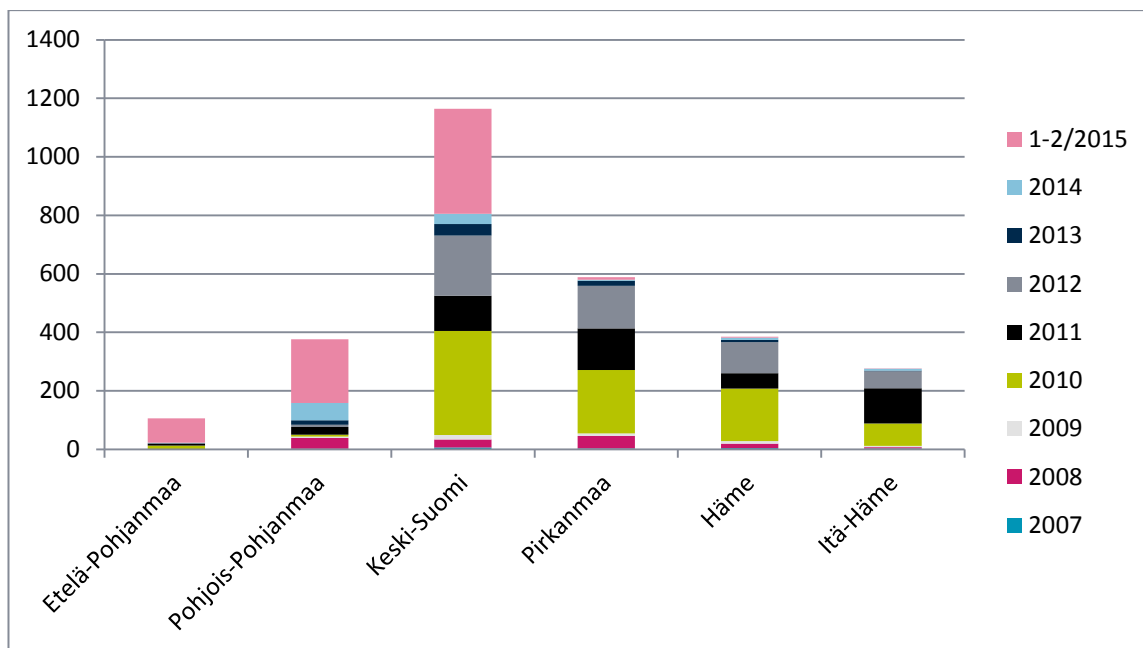
Taulukko 5. Metsurityönä tehtyjen raivausten muutokset jälleenkytkentä- ja vikataajuuksissa (kpl/100 km, a). Tarkasteluajanjaksona vuosi ennen ja jälkeen raivauksen.

	PJK	AJK	VIKA	Aikaa edel. Raivauksesta
Pirkanmaa Sähköasema 2				
Johtolähtö 1	7,2	-9,6	-7,2	n. 3 vuotta
Johtolähtö 2	-7,7	0,0	-10,2	n. 2,5 vuotta
Johtolähtö 3	-101,3	-16,2	-8,1	n. 3 vuotta
Johtolähtö 4	20,9	0,0	0,0	n. 2,5 vuotta
Johtolähtö 5	-13,3	8,8	4,4	n. 2,5 vuotta
Häme Sähköasema 1				
Johtolähtö 1	-12,4	20,6	4,1	n. 3 vuotta
Johtolähtö 2	-7,4	9,9	7,4	n. 3 vuotta
Johtolähtö 3	48,2	36,7	18,4	n. 3 vuotta
Johtolähtö 4	4,6	0,0	-7,0	n. 3 vuotta
Pohjois-Pohjanmaa Sähköasema 1				
Johtolähtö 1	-60,4	-24,1	-24,1	n. 5 vuotta
Johtolähtö 2	-31,6	-15,8	0,0	n. 5 vuotta
Johtolähtö 3	-20,7	-12,9	0,0	n. 5 vuotta
Johtolähtö 4	-8,2	-8,2	-8,2	n. 5 vuotta
Johtolähtö 5	-8,7	46,5	8,7	n. 5 vuotta

Taulukosta huomataankin nopeasti, että pisimmällä raivauskierrolla on saatu selkeästi suotuisimmat tulokset jälleenkytkentöjen osalta. Lyhyemmällä raivauskierrolla on selvästi enemmän vaihtelua johtolähtöjen välillä kuinka raivaus on vaikuttanut, mutta pääasiassa raivausten vaikutukset jälleenkytkentätaajuuksiin on ollut positiivisia.

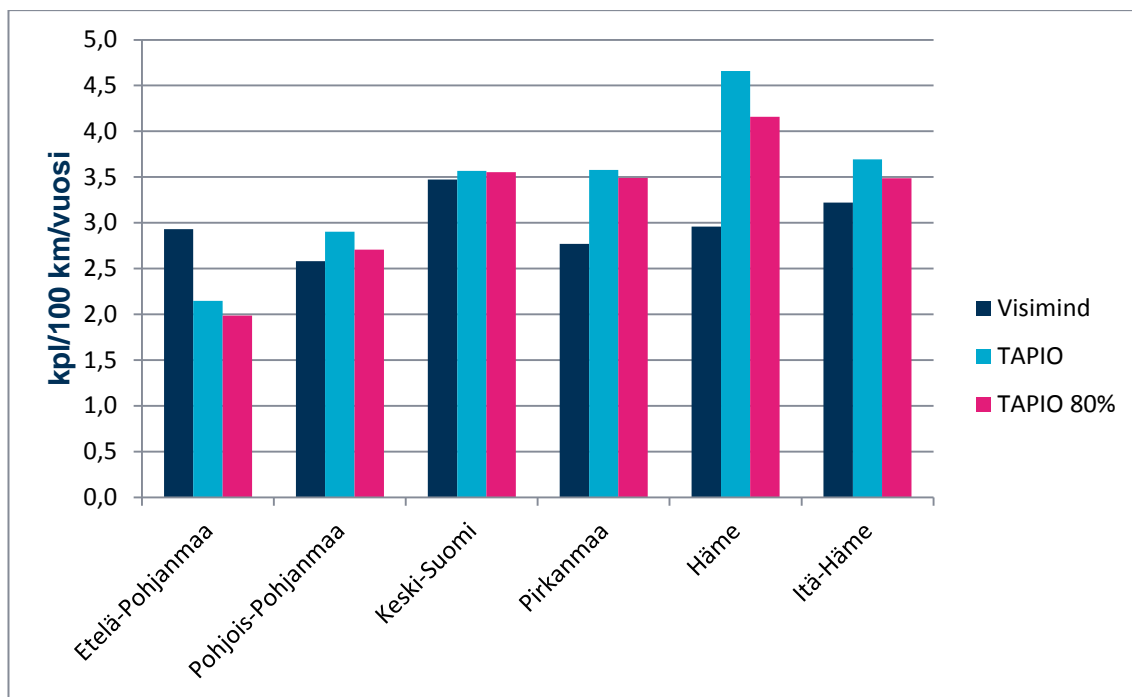
7.1.5 Vierimetsänhoitoon liittyvät tilastot

Aiemmin jo todettiin, että vierimetsä kohteita on tähän mennessä tehty niin vähän, ettei vaikutuksia voida vikatilastoista suoraan vertailla. Vikatilastoista voidaan kuitenkin tarkastella millä alueilla vierimetsänhoito olisi hyödyllisintä, vaikka suoraan tilastotkaan eivät näytä mitkä viat ovat vierimetsästä aiheutuneet. Kuten luvussa 5 on jo käsitelty lumikuormaviat usein johtuvat vierimetsästä taipuvista puista. Tämä voidaan myös selvästi huomata kuvasta 14, joka on otettu tammikuun 2015 lumikuormilla helikopterilennolta. Siksi seuraavaksi kuvassa 26 onkin tarkasteltu kuinka lumikuormaviat ovat jakautuneet alueittain Elenian verkkoalueella. Lumikuormaviat ovat valikoitu tilastoista niille merkityn aiheuttajan perusteella. Viat, joille on merkitty aiheuttajaksi ”Lumikuorman kaatama puu” (2007 -2011) tai ”Lumi ja jää (puu)” (2012–2015) ovat valikoituneet tarkasteluun.



Kuva 26. "Lumikuorman kaatama puu" aiheuttajalla tilastoidut vikakeskeytykset.

Lumikuormavioista saadaan hyvä kuva siitä kuinka suurta vuosittainen vaihtelu on lumikuormien esiintymisessä sekä siitä, että lumikuormat eivät yleensä esiinny koko verkkoalueella samana vuonna. Esimerkiksi vuosina 2007–2009 sekä 2013–2014 on lumikuormavikojen määrät olleet hyvin alhaiset. Puolestaan esimerkiksi vuonna 2010 verkkoalueella on Pohjanmaata lukuun ottamatta ollut huomattavasti lumikuormista aiheutuneita vikoja ja vuoden 2015 alun lumikuormat osuivat puolestaan pelkästään verkkoalueen pohjoisosiin. Vuoden 2015 alun lumikuormatilanteesta tehtiin huomattavat määrät myös ennalta ehkäisevää puiden poistoa helikopterista tehtyjen havaintojen perusteella. Mikäli tätä ei olisi lainkaan tehty, olisi ylin vuoden 2015 osuus huomattavasti suurempi, sillä 16 päivän aikana helikoptereista tehtiin yli 4000 merkintää, joista yli puolet oli uhkaavia puita tai "räippiä". Tämä on kuitenkin moninkertaisesti koko verkkoalueen lumikuormapuista aiheutuneiden vikojen määrä (vajaa 700 kpl). Ja näissä on huomattava, että yksi merkintä voi sisältää useita puita, samoin kuin yhdellä vikakeskeytyksellä voi olla useita puita. Huomattavaa on, että riippumatta siitä osuiko lumikuormat verkkoalueen pohjois- tai eteläosaan, osuivat lumikuormaviat myös Keski-Suomeen. Mikä myös osittain selittyy sillä, että Keski-Suomen verkkoalueen osa on pinta-alaltaan ja verkkopituudeltaan verkkoalueen suurin operointialue.



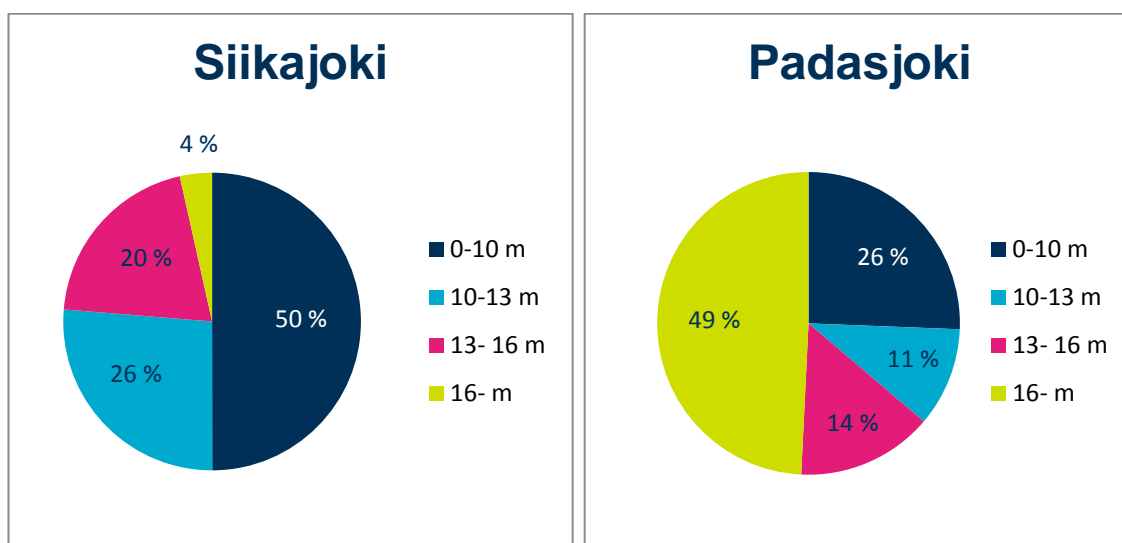
Kuva 27. Kuvassa 26 esitetyt lumikuormaviat suhteutettuna metsämaalla sijaitsevan KJ-ilmajohdon pituuteen eri metsäisyyss arvioilla.

Kuvassa 27 on puolestaan esitetty lumikuormien aiheuttamien puiden keskimääräinen jakautuminen vuosittain suhteutettuna metsämaalla sijaitsevan KJ-ilmajohdon määrään. Määrällisesti Keski-Suomen alue nousi esiin, mutta metsäisyyteen suhteutettuna vastaa-va erottumista ei kuitenkaan tullut ilmi ja tilanne tasoittuu vuosittaisesta vaihtelusta huomattavasti. Pitkän aikavälin keskiarvona voidaan hieman alueesta riippuen pitää 2,0-3,5 vikaa/100 km, a metsässä sijaitsevilla KJ-ilmajohdolla. Tilastollisesti vuonna 2014 lumi- ja jääkuorman aiheuttamia keskeytyksiä on ollut koko Suomessa 1,35 kpl/100 km ilmajohtoa (Energiatieteellisyys 2015b).

7.2 Maasto- ja metsäolosuhteet

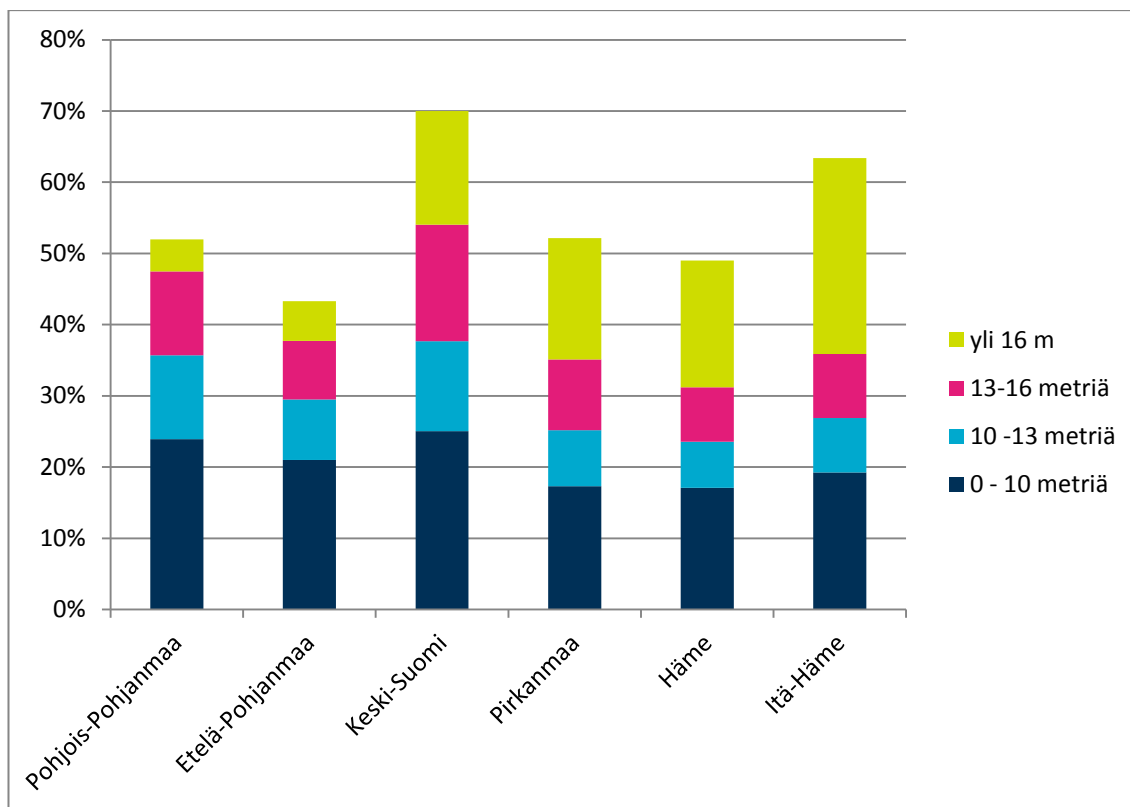
Maaston muodot ja metsän tyyppi vaikuttavat siihen, minkälaisia toimenpiteitä johtokadulla ja vierimetsissä on mahdollista tehdä. Siksi tarkasteluun on otettu Tapion Sähkölinjojen vierimetsä –projektissa tuotettuja tietoja, jotka perustuvat metsäkeskuksen VMI:hin, kuten jo luvussa 5 todettiin. Lisäksi tarkastelussa on käytetty alkuperäisiä VMI:stä saatuja kunnittaisia metsätietoja, joihin ei ole liitetty tietoa sähköverkon sijainnista. Tapion projektin tiedot ovat saatavissa Excel-tiedostoina, joissa tiedot on esitetty kuntakohtaisesti. Tiedoista on diplomityötä varten eroteltu Elenian verkkoalueella sijaitsevat kunnat. Verkkoalueella on kuitenkin hyvin pieniä osuuksia monen kunnan alueelta, joten alueellisissa tarkasteluissa nämä voivat vääristää tuloksia. Siksi osa tarkasteluista onkin tehty myös niin, että on otettu huomioon ainoastaan kunnat, joista yli 80 % sijaitsee Elenian verkkoalueella.

Verkkoalueen kunnat ovat hyvin erilaisia metsäisyyksiltään ja puuston pituudelta, johon hyvin laajasta maantieteellisestä sijainnista. Metsäisyysasteet Suomessa Tapion projektin perusteella on esitetty aiemmin kuvassa 15. Elenialla metsäisyysastetta on myös arvioitu lentotarkastuskuvien perusteella sähköasemakohtaisesti, jossa verkon ääripäät ovat alle 20 % metsäisyydestä yli 90 % metsäisyysasteeseen saakka. Suuret erot metsäisyysasteessa vaikuttavat oleellisesti raivausten ja vierimetsänhoidon tarpeellisuuteen, mutta yksinään metsäisyysaste ei kerro mitään puuston ominaisuuksista. Maantieteelliset erot aiheuttavat eroja myös puuston kasvussa. Kuvassa 28 onkin esimerkkinä esitetty verkkoalueen ääripäissä sijaitsevien kuntien puuston pituusjakaumat.



Kuva 28. Elenian verkkoalueella sijaitsevien kuntien ääripäät metsän pituusluokittelun perusteella.

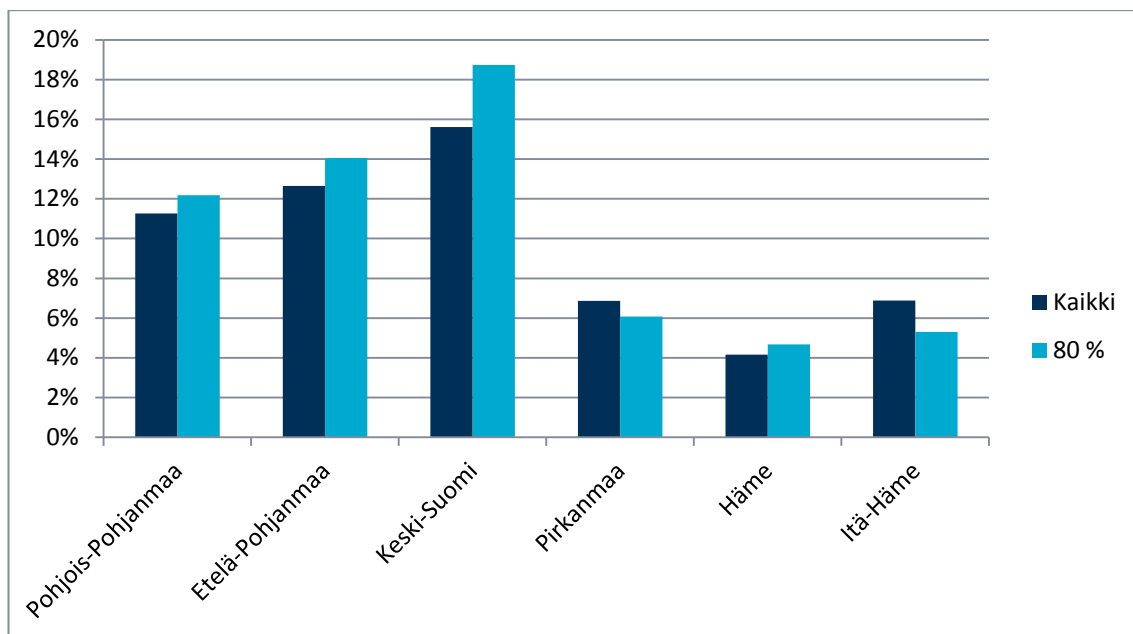
Kuvan 28 prosenttiluvuilla kuvataan siis kunnan metsätalousmaalla kulkevan linjan jaottelua pituusluokittain, eli prosenttiluvuissa ei ole otettu huomioon esimerkiksi maatalousmailla kulkevan linjan määrää. Erot esimerkkikuntien välillä olisi tällöin vieläkin suuremmat, sillä Siikajoella 47,5 % linjasta on metsätalouden maalla, kun taas Padasjoella vastaava luku on 69,6 %. Vierimetsän puuston pituus vaikuttaa hyvin olennaisesti sekä vierimetsänhoitoon että raivaukseen. Kuten aiemmin on jo mainittu, helikopterioksinalla ei ole korkeusrajoituksia puuston pituuden suhteen, kun taas tavallisella motolla voidaan yltää reiluun 10 metriin ja lisävarustellulla pariinkymmeneen metriin. Käsintehtynä oksinnassa parhaimmillaankin voidaan päästä noin 13 metriin, mutta haastattelujen perusteella näin oksinta on tehokasta noin 11 metriin. Näin ollen pidemmässä puustossa oksinnan laatu voi heikentyä sen vaativuuden takia. Alueellisella tasolla tarkastellessa kuvasta 29 voidaan nähdä selkeät erot puuston pituuskasvussa ja samalla myös kuvassa näkyy karkea arvio alueen metsäisyysasteesta. Alueen sisällä vaihtelu metsäisyydessä voi olla suurtakin, mutta alueellinen keskimääräinen arvio antaa myös hyvin suuntaa todellisesta tilanteesta.



Kuva 29. Puuston pituusluokkien osuus alueen koko linjan määrästä. Alueille laskettu vain yli 80 % Elenian verkkoalueella olevat kunnat.

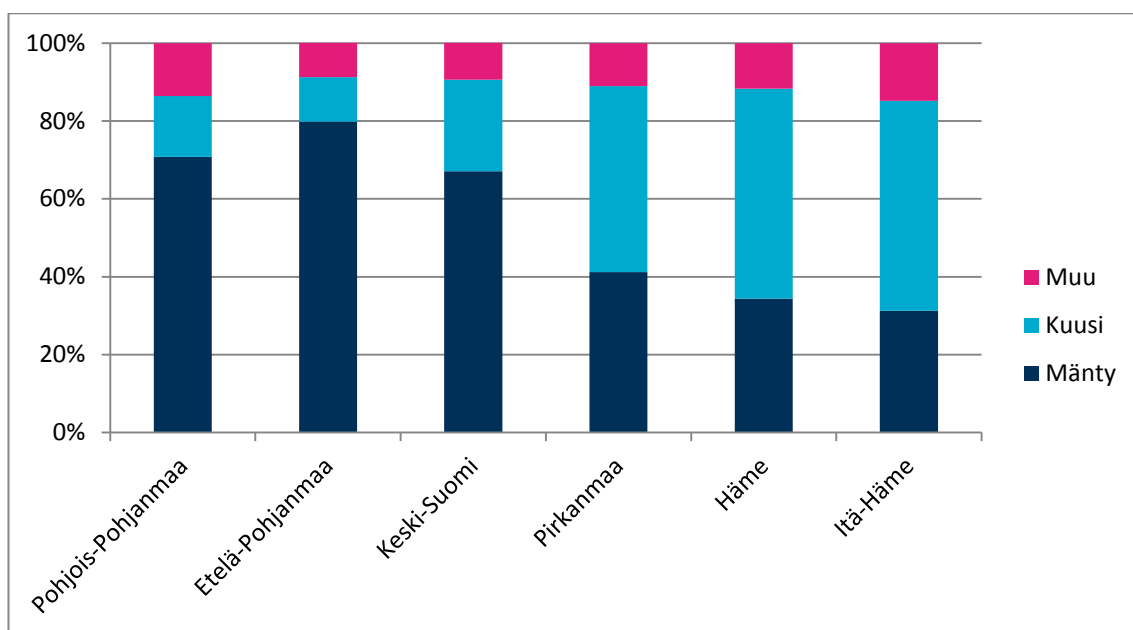
Kuten kuvasta huomataan suurimmat erot alueiden välillä tulevat yli 16 metrisen puuston määrässä. Tämä käytäntöön siirrettynä tarkoittaa, että vaativaa oksintatyötä on suhteessa enemmän Itä-Hämeessä kuin muilla alueilla.

Vierimetsien hoitoa ja sen aiheuttamia riskejä käsiteltiin luvussa 5. Luvussa todettiin, että erityisen suuria ongelmia tuottavat nuoret ja pitkät riukuuntuneet lehtipuut. Kuvassa 30 on kuvattu alueellisesti kuinka suuri osuus alueen linjasta kulkee lehtipuuvaltaisessa valtaisessa metsässä, jonka valtapituus on yli 10 metriä. Lehtipuuvaltaiseksi metsäksi on laskettu Tapion projektissa puusto, jossa tilavuudesta tai pienen puuston osalta runkoluvusta yli puolet on lehtipuuta (Tapio 2013a). Verkkoalueen pohjoisemmat osat nousevat tässä taulukossa selvästi esiin. Huomion arvoista on myös Itä-Hämeen lehtipuuvaltaisuuden pieni osuus kun verrataan kuva 29 tilanteeseen, jossa metsäisyysaste on toiseksi suurin.



Kuva 30. Yli 10 metrisessä lehtipuustossa kulkevan linjan osuus alueen koko linjan määrästä.

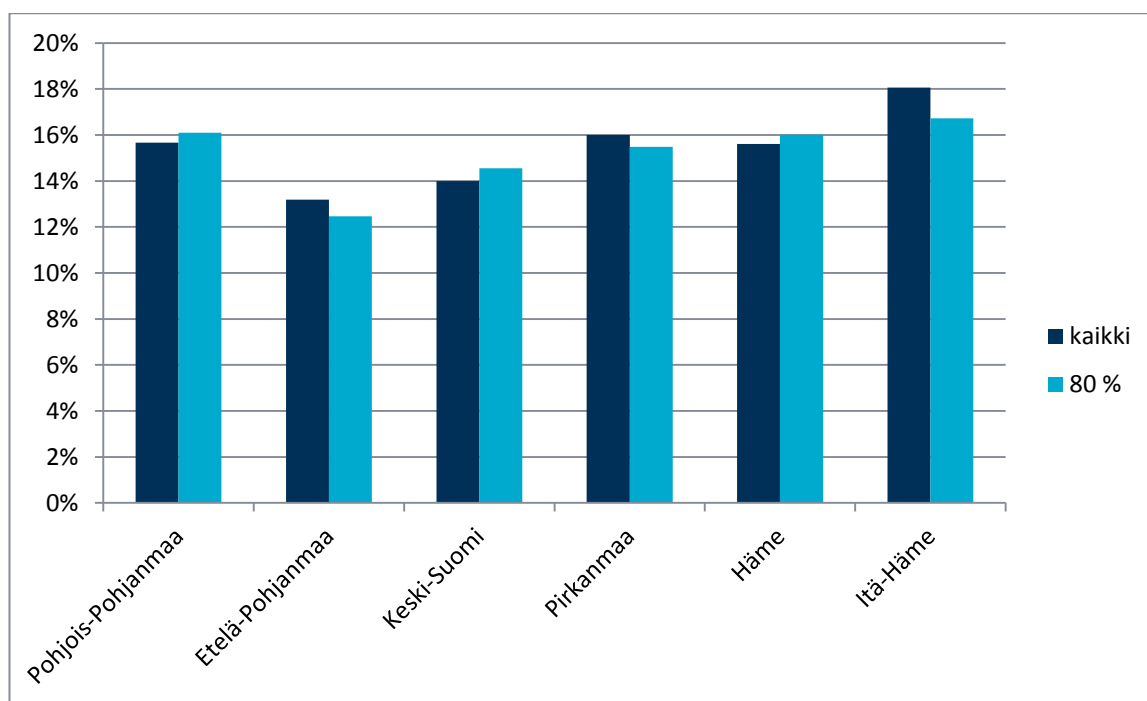
Vaikka lehtipuusto oli merkittävä tekijä vierimetsistä aiheutuissa ongelmissa, mainittiin aiemmin myös, että havupuiden lumen kantokyvyssä on eroja. Mänty on kantokyvyltään hieman kuusta heikompi, jolloin lumikuormavikojen voidaan olettaa olevan todennäköisempiä mäntyvaltaisissa metsissä kuin kuusivaltaisissa. Kuvassa 31 on esitetty koko kunnan puulajijakauma. Laskelmat on tehty metsien monilähdeinventointiin perustuvien tilastojen perusteella, valiten ne kunnat joista yli 80 % on Elenian verkkoalueella, kuten aiemmin esitetyissä kuvaajissakin.



Kuva 31. Puulajien vallitsevuus metsämaalla alueittain käyttäen kuntia, joista yli 80 % on Elenian verkkoalueella.

Kuvasta 31 voidaankin huomata, että verkkoalueen kolmella pohjoisimmalla alueella kuusi-mänty –suhde on hyvin mänty painotteinen, kun taas eteläisemmät kolme aluetta ovat kuusivoittoisia. Eri taulukoita tarkastellessa tulee huomioida, että vaikka lähtötietoina alun perin on samat metsien monilähdeinventoinnit, eivät määrät ole vertailukelpoisia toistensa kanssa. Tapion projektissa käytettävät tiedot ovat kuitenkin hyvin pieni osuus alueen kaikista metsistä ja ne kertovat vain sähkölinjojen vierimetsistä.

Vierimetsänhoidon tarvetta voidaan arvioida myös muilla puustoa kuvaavilla tiedoilla. Luvussa 5 todetaan, että hoitamaton taimikko voi kasvaessaan aiheuttaa riskin sähkönjakelulle. Taimikonhoitotarpeella voidaan siis ennakoida vierimetsänhoitotarvetta. Kuvassa 32 on esitetty taimikonhoitotarpeen osuus metsämaalla sijaitsevan linjan määrästä. Tapion projektin tiedoista taimikonhoitotarpeeseen on määritetty luokat ”Hoitotarve on” ja ”Todennäköinen hoitotarve”.



Kuva 32. Taimikonhoitotarpeen osuus kaikesta metsämaalla sijaitsevasta linjasta.

Taimikonhoitotarpeessa alueiden välillä ei esiinny suuria eroavaisuuksia, sillä kaikki alueet ovat alle 5 % sisällä toisistaan. Tapion projektimateriaaleissa onkin huomioitu, että taimikonhoitotarvetta kuvaaviin tilastoihin on syytä suhtautua varauksellisesti. Näiden syiden takia taimikonhoitotarvetta ei ole tarkemmassa tarkastelussa otettu huomioon.

Pelkästään puustoisuudesta kertovia tietoja tarkastelemalla, lukuun ottamatta taimikonhoitotarvetta, tiedot näyttävät selvää suuntaa, että vierimetsänhoidolle otollisimmat kohteet olisivat Elenialla verkkoalueen pohjoisimmat alueet: Pohjois-Pohjanmaa, Etelä-Pohjanmaa sekä Keski-Suomi. Raivauksia ajatellen edellä esitetyistä tiedoista puuston-

pituustiedot ovat selvästi tärkeimmät, sillä niistä nähdään, että Pohjois- ja Etelä-Pohjanmaalla oksinta tarpeet ovat hyvin erilaiset kuin muulla verkkoalueella.

7.3 Laadulliset näkökohdat

Raivauksissa menetelmiä valitessa tulisi myös huomioida laadulliset tekijät. Yksi olennaisimmista onkin työnjälki ja erityisesti se kuinka pitkän ajan päästä seuraavan kerran pitää raivata. Alustan raivauksessa raivauskiertoon eniten käytännössä vaikuttaa minkälaisia kasveja alueella kasvaa. Eikä myöskään tämän työn puitteissa ole tullut ilmi arvioita, että raivauskierron kesto olisi jollakin menetelmällä muista poikkeava. Oksinta puolestaan myös riippuu osin puustosta, mutta myös menetelmä riippuvaisia raivauskiertoaika arvioita on tullut vastaan. Mikäli raivauskiertoa on mahdollista pidentää jollakin menetelmällä, voi se tuoda myös säästöjä pidemmällä aikavälillä.

Helikopterioksinna mainittiin muun muassa tähän työhön tehdyissä haastatteluissa, että seuraava oksintakierros tarvitsee tehdä noin 10 vuoden kuluttua. Tämä arvioilta kaksinkertaistaisi oksintakierron pituuden verrattuna metsurityönä tehtyjen raivausten kiertoaikaan. Käytännössä tämä siis tarkoittaa, että raivausta seuranneessa raivaustarveanalyysissä ei tulisi olla oksintatarvetta kuin yksittäisissä kohteissa. Siksi seuraavassa on tarkasteltu koneellisesti oksituille johtolähdöille tehtyjen raivaustarveanalyysien tuloksia. Alla esitetyssä taulukossa 6 on kuvattu prosentuaalisesti kuinka suurella osuudella kullakin johtolähdöllä koneellisesti oksitusta osuudesta on raivausanalyysissä tullut esiin oksintatarvetta tai on jo tarpeen perusteella oksittu sekä koneellisen oksinnan aika ja analyysin vuosi.

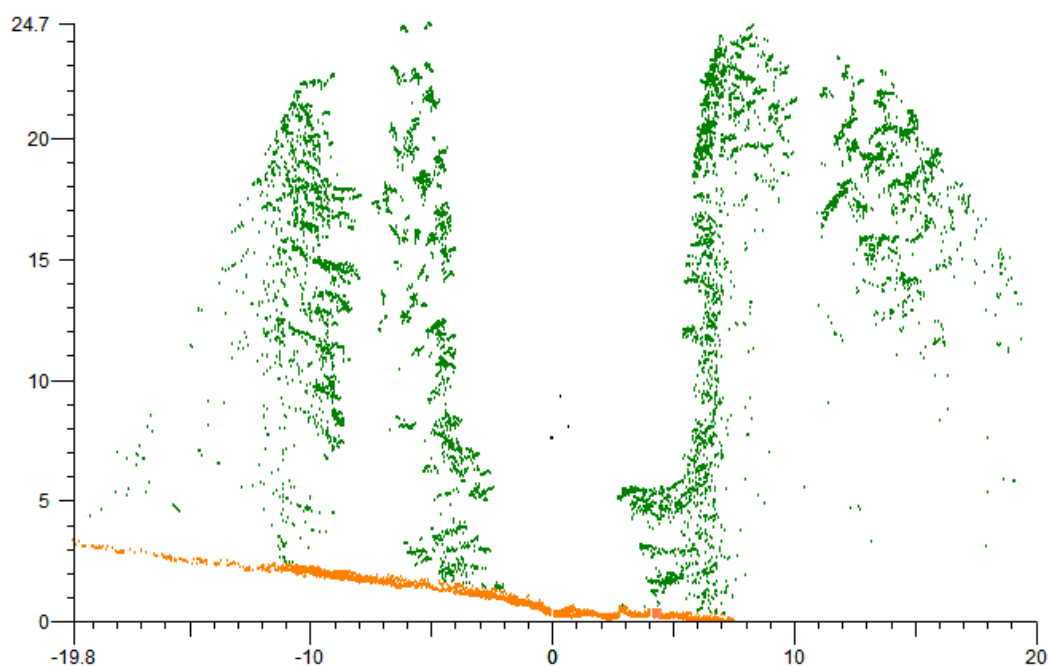
Taulukko 6. Koneellisesti oksittujen johtolähtöjen oksintatarpeiden ja oksintojen osuudet koneellisesti tehdystä.

Johtolähtö	Prosenttiosuus		
	Oksittu tai Oksintatarve (8/2015)	Analyysin vuosi	Koneellisesti Oksittu
Moto Pirkanmaa	0,0 %	2014	12/2013
Moto Keski-Suomi	0,0 %	2014	02/2013
Heko Pirkanmaa 1	0,0 %	2014	01/2011
Heko Itä-Häme 2	46,1 %	2014	01/2013
Heko Häme	56,6 %	2013	12/2010
Heko Keski-Suomi 1	72,6 %	2013	03/2011
Heko Itä-Häme 1	80,6 %	2012	04/2010
Heko Keski-Suomi 2	92,2 %	2012	01/2010
Heko Itä-Häme 3	95,5 %	2013	01/2013
Heko Pirkanmaa 3	97,7 %	2012	09/2009
Heko Pirkanmaa 2	98,6 %	2012	09/2009

Kuten taulukosta 6 nähdään, on raivausta seuraavassa lentotarkastuksessa suurella osalla johtolähdöistä löytynyt huomattavan suuret oksintatarpeet. Kuitenkin huomattavaa on, että oksintatarpeet ovat lähes suoraan raivaustarpeen määrittäminen vuoden mukaisessa jär-

jestyksessä. Näinä kolmena vuotena raivaustarpeiden määrittäminen onkin tehty eri tavoilla. Vuonna 2012 määrittäminen tapahtui manuaalisesti tarkastuskuvista ja tarkastaja on tehnyt valinnan mikä on raivaustarve kohteessa. Vuonna 2013 tehtiin tarkastelu manuaalisesti sekä automaattisella analyysillä, jotta voitiin määrittää analyysin tarkkuutta. Ja vuonna 2014 tarkastus tehtiin kokonaan automaattisella analyysillä, mutta kyseisen analyysin toteutti eri yhtiö kuin vuoden 2013 analyysin. Voidaan todeta, että analyysit tarkentavat oksintatarvetta sillä se perustuu suoraan laserkeilauksesta todettuihin etäisyyksiin. Vaikkakin kahden monitoimikoneella tehdyn raivauksen prosenttiosuudet ovat 0,0 % tulee huomioda, että tarkastelut on tehty heti oksintaa seuranneena vuonna.

Mittavat raivaustarpeet eivät kuitenkaan suoraan tarkoita, että oksinta olisi epäonnistunut. Yhtenä selittävänä tekijänä voidaan pitää puuston alaoksien kasvua. Tilannetta havainnollistaa kuva 33, jossa näkyy helikopterioksittu osuus selvästi. Kuva on lentotarkastuksissa saatavan laserkeilauksen pistepilven poikkileikkaus, jota käytetään muun muassa rakennusten etäisyyksien mittaamiseen.



Kuva 33. Laserkeilauksesta saatava pistepilven poikkileikkaus johtokadusta, joka helikopterioksittu kaksi ja puoli vuotta aikaisemmin.

Kuvan akselit ovat metreissä, mutta niiden nollakohdat määrittyvät automaattisesti laserkeilauksessa, eikä täten ole täysin kohdistettu johtokadun keskilinjaan. Kuvassa keskellä noin nollan kohdalla vaakaa-akselilla näkyy kolme mustaa pistettä, jotka ovat johtimet. Vihreät pisteet kuvaavat ympärillä olevaa puustoa ja oranssit puolestaan maastoa. Helikopterioksinnan jäljet nähdään selkeänä leikkauslinjana johtokatua reunustavassa puustossa, mutta huomattavasti pidempiä ovat alimmat oksat. Ne ovat voineet kasvaa

oksinnan jälkeen tai niihin ei ole helikopterilla turvallisesti yletetty. Ylettyminen voi tulla kyseeseen erityisesti korkeassa puustossa, sillä sahalla yletytään ylhäältä alas noin 20 metriä ja puustokin voi olla reilusti yli 20 metristä (Heikkinen 2015). Kuvasta voidaankin päätellä, että oksintatarve on hyvin vähäistä ylimmällä 20 metrillä, joka on aiemmin helikopterioksittu. Itsessään siis taulukon 6 eivät suoraan kerro siitä, että helikopterioksinta olisi huonosti tehty, kuten ensisilmäyksellä voisi tulkita. Arvioitavaksi jääkin tulisiko seuraavan esimerkiksi metsurityönä toteutetun oksinnan olla halvempi helikopterioksitulla johtolähdöllä kuin perinteisen oksinnan jäljiltä.

7.4 Kustannukset

Liiketoiminnassa edellytetään kaikilta toiminnoilta kustannustehokkuutta. Siksi kustannukset ovat myös usein määräävässä roolissa, kun valikoidaan esimerkiksi käytettäviä menetelmiä. Usein kuitenkin katsotaan vain suoria kustannuksia, joissa erot menetelmien välillä voivat olla hyvin suuret. Jotta raivausmenetelmiä voidaan realistisesti vertailla, tulee ottaa huomioon vaikutukset pidemmällä aikavälillä. Tässä työssä kustannuksia tarkasteltaessa tarkkoja euromääriä ei luottamuksellisuuden vuoksi käsitellä, mutta menetelmien väliset kustannuserot esitetään suhteessa toisiinsa.

Raivausmenetelmien kustannuksia vertailtaessa tärkein huomioitava kustannus on tietysti itse työn kustannus. Tämä kertoo absoluuttisesti kyseisellä ajanhetkellä mikä on eri menetelmien tai urakoitsijoiden hintaero. Kuitenkin käytettävillä menetelmien eroista johtuen on mahdollista, että kustannuksiltaan kalliimpi menetelmä on pidemmällä aikavälillä kokonaisedullisempi. Tähän vaikuttavat raivausten osalta kuinka nopeasti raivaus tulee uusia, kuinka tehokkaasti käytettävä menetelmä vähentää vikojen syntymistä tai kuinka raivaus vaikuttaa vianpaikannus- ja viankorjausaikaan. Tavoitteena työssä olikin luvun 7.1 tietojen perusteella löytää menetelmien välille eroja jälleenkytkentä- ja vika-
taajuuksissa, jotta näiden aiheuttamia kustannuseroja olisi voinut vertailla menetelmän kokonaiskustannuksiin. Samoin myös raivausten uusimistarpeen perusteella olisi voinut tarkastella kustannuksia tähän suhteutettuna, mutta kuten luvusta 7.3 huomataan, että asia ei ole täysin suoraviivainen. Helikopterioksinnan jälkeen seuraavaa oksintaa ei voida odottaa arvioitua kymmentä vuotta, mutta tällä välillä ilmenevä oksintatarve on vähäistä ja vain alimmilla oksilla. Siksi kilpailutuksessa, mikäli helikopterioksintaa tehdään enemmän, tulisi ottaa erikseen huomioon oksinnan hinta johtolähdöillä, jotka on aiemmin helikopterioksittu. Mutta koska työssä ei voida esittää selkeitä erottavia tekijöitä menetelmien välille, jää kustannustarkastelukin huomattavasti suppeammaksi kuin työssä oli tavoitteena.

Kun helikopterioksintaa verrataan tarveperusteisesti käsin tehtyyn raivaukseen, on se kilometrihinnaltaan lähes nelinkertainen. Helikopterioksinnan hinta pitää sisällään tässä tapauksessa myös alustan raivauksen, joka tietysti tehdään käsityönä. Monitoimikoneella tehty raivaus on samassa hintaluokassa helikopterin kanssa.

Vierimetsänhoitoon liittyvät kustannukset eivät puolestaan ole vertailukelpoisia raivausmenetelmien kanssa, sillä vierimetsänhoidossa kilometrikustannuksiin sisältyy huomattavasti muitakin kuin harvennustyö metsässä. Tällaisia kustannuksia ovat muun muassa maanomistajien selvittäminen ja lupien ja mahdollisten valtakirjojen kerääminen sekä puukaupan järjestäminen. Suuruusluokaltaan kilometrihinnaltaan vierimetsänhoito on lähes kaksinkertainen helikopterioksintaan verrattuna ja kustannukset voivat vaihdella huomattavasti hoidon laajuuden mukaan. Vaikka vierimetsänhoito on selvästi kalliimpaan kuin normaaliin kunnossapitoon kuuluvat raivaukset, ei se estä niiden toteuttamista. Toimitusvarmuuskannustimen avulla nämä uudet kunnossapitotoimenpiteet voidaan ottaa huomioon yhtiön sallitun tuoton suuruutta laskettaessa, jolloin ne eivät vaikuta kuten muut kunnossapitotoimenpiteet.

8. KEHITYSEHDOTUKSET

Tässä diplomityössä pyrittiin arvioimaan erilaisten kunnossapitotoimenpiteiden soveltuvuutta Elenian verkkoalueella ja kehittämään toimenpiteiden suunnittelua ja valintaa. Seuraavissa alaluvuissa on esitetty kehitysehdotukset, joilla vierimetsänhoitoa voidaan viedä eteenpäin ja parantaa raivausprosessia Elenialla. Kehitysehdotuksissa on siis esitetty vierimetsänhoidolle kriteerit, joilla hoidon suunnittelu voidaan toteuttaa ja raivauksille on esitetty mihin normaalitoiminnasta poikkeavat raivaustoimenpiteet kannattaa suunnata sekä kuinka raivausten laadun seuranta voidaan kehittää.

8.1 Vierimetsänhoidon hyödyntäminen Elenialla

Vierimetsänhoidosta ei ole vielä saatavilla kattavaa tietoa sen vaikutuksista pitkältä ajalta, sillä kyseessä on vielä hyvin uusi kunnossapidontoimenpide. Vierimetsän riskitekijät ovat kuitenkin selvästi tunnistettuja, jolloin hoidosta saatavaa hyötyä on mahdollista ennalta arvioida. Samoin on myös mahdollista arvioida vierimetsänhoidon menetelmiä tarkastelemalla eri yhtiöiden käyttämiä ratkaisuja vierimetsänhoitoprosessissa.

Tärkein yksittäinen tekijä vierimetsänhoidon toteuttamisessa on kuitenkin toimitusvarmuuskannustin. Koska toimitusvarmuuskannustin antaa mahdollisuuden tuoda toimintaan uusia kunnossapidontoimenpiteitä toimitusvarmuuden parantamiseksi, on kannattavaa kokeilla vierimetsänhoitoa käytännössä laajemminkin. Kuitenkin hoidettavat kohteet tulee valita tarkkaan, jotta hoito parantaa toimitusvarmuutta mahdollisimman paljon. Siksi työssä esitetään seuraavaksi ehdotus kriteereiksi, kuinka valita hoidettavat kohteet ja mihin vierimetsänhoitoa tulisi Elenian verkkoalueella kohdentaa.

Tarkasteltaessa luvuissa 5 ja 7 esitettyjä vierimetsänhoidon riskitekijöitä sekä näihin liittyviä tilastoja Elenian verkkoalueelta, voidaan näitä hyödyntää kohteiden valinnassa. Lähtökohtana suunnittelussa kuitenkin pitäisi olla analyysi, mielellään täysin automaattinen, verkon todellisista vierimetsänhoidon tarpeista. Analyysi on tarpeellinen, sillä Elenian keskijännitteisen jakeluverkon ilmajohtojen (lähes 20 000 km) läpi käynti manuaalisesti vaatisi hoidon suunnittelussa kohtuuttoman paljon aikaa ja resursseja. Varsinkin mikäli toteutusmäärät nousevat yli muutaman sadan kilometrin. Esimerkiksi luvussa 5.3.2 esitetty Carunalla käytössä oleva analysointitapa voisi soveltua myös Elenian käyttöön, sillä analysoinnissa käytetään vastaavia lentokuvausaineistoja kuin Elenialla. Automaattinen analyysi on siis teknisesti mahdollista, mutta tarkkuutta vaativat vierimetsien puuston ja hoitotarveluokkien määrittelyt.

Vierimetsänhoidon onnistumiseen ja kohteiden valintaan vaikuttavia kriteereitä on kahdenlaisia. Kriteerit, jotka perustuvat sijaintiin, maastoon, puustoon tai säähän, eli siis kriteerit jotka ovat verkkoyhtiön toiminnasta riippumattomia. Toiset kriteerit perustuvat puolestaan verkkoyhtiön strategiaan ja tuleviin suunnitelmiin esimerkiksi tulevista kaapelointikohteista. Ensimmäisenä esitettyjen kriteerien perusteella voidaankin suunnata vierimetsänhoitotoimenpiteet sellaisille alueille, joilla hoidosta on eniten hyötyä. Toisena esitettyjen kriteerin perusteella voidaan kohdentaa toimenpiteet valituilla alueilla esimerkiksi johtolähtökohtaisesti. Ensimmäisenä esitetyistä kriteereistä tässä työssä on muodostettu alueellinen prioriteetti, jonka perusteella voidaan kohdentaa toisten kriteerien tarkastelua.

Alueellinen prioriteetti on muodostettu Elenian operointialueiden pohjalle. Kriteereissä on siis huomioitu verkkoyhtiön toiminnasta riippumattomat tekijät taimikonhoitotarvetta lukuun ottamatta, sillä kuten luvussa 7.3 huomattiin, tiedot eivät tuoneet esiin merkittäviä eroja alueiden välillä ja itse lähtötietoihinkin tuli suhtautua varauksella. Kriteereissä on sääolosuhteiden vaikutusta otettu huomioon muun muassa lumikuormavikojen esiintymisen tilastoilla.

Elenian verkkoalueella jokaiselta operointialueelta löytyy kohteita, joilla vierimetsänhoidosta olisi hyötyä. Alueellisella prioriteetilla pyritään helpottamaan suunnittelua, kun prioriteetin avulla hyötynäkökohdat on koko verkkoalueen näkökulmasta arvioitu. Tärkein alue vierimetsänhoidon kannalta on Keski-Suomi. Sen suuren verkkomäärän, korkean maaston, korkean lehtipuuston osuuden, mänty-kuusi -suhteen sekä lumikuormariskipäivien määrän perusteella vierimetsänhoitoon kannattaa alueella panostaa. Yksittäisiä kriteereitä tarkastellessa suurimmalla osalla Keski-Suomi on ensimmäisenä ja kaikissa vähintään kolmen tärkeimmän joukossa. Kun painotetaan valinnassa lumikuormien esiintymisriskiä, toinen olennainen alue on Pirkanmaa. Toista ääripäätä alueissa edustaa Etelä-Pohjanmaa, jolla on runsaasti mäntyjä ja verkko sijaitsee korkeassa lehtipuustossa. Se ei ole kuitenkaan kannattava kohde vierimetsänhoidolle pieniä määriä hoitoa toteutettaessa. Alue on matalimmalla, mitattaessa korkeutta merenpinnasta, ja osin myös tästä johtuen, alueella on alhaisin lumikuormariskipäivien lukumäärä vuodessa. Tämä on myös nähtävissä lumikuormavikojen tilastoinnista, joten alkuvuoden 2015 kaltaiset lumikuormat ovat enemmänkin poikkeus. Käytännössä siis alue on otollinen lumikuorman aiheuttamille vioille puustonsa vuoksi, mutta itse lumikuormien syntyminen alueella on epätodennäköistä.

Vierimetsänhoidossa alueellisten suuntaviivojen jälkeen suunnittelussa tulee tehdä hoidon tarkempi kohdistaminen. Kuten aiemmin jo mainittiin, hyvänä lähtökohtana olisi tässä automaattinen analyysi, jonka tuloksien perusteella olisi mahdollista suorittaa tarkempi tarkastelu. Kuitenkin alueellisen prioriteetin mukaiset valinnat mahdollistavat manuaalisemmankin tarkastelun, jolloin tietyltä verkon osalta valittujen kriteerien mukaan haarukoidaan vierimetsänhoitoon soveltuvat kohteet.

Elenian päätös maakaapeloida kaikki uusi ja saneerattava verkko, vaikuttaa myös huomattavasti vierimetsänhoidon suunnitteluun. Vierimetsänhoitoa tulee kohdistaa sellaisiin kohteisiin, joissa on mahdollista saada hyötyä pidemmällä aikavälillä, eli kohteisiin joihin ei ole suunniteltu saneerauksia seuraavaan kymmeneen vuoteen. Kuitenkin käytännössä näin pitkää aikaa on mahdotonta täysin varmasti tietää, joten riittävän tarkkana voidaan pitää myös seuraavan viiden vuoden suunnitelmia. Osa vierimetsänhoitokohteiden suunnittelusta voidaan tehdä alueluokittelun perusteella. Alueluokittelussa verkko on numeroitu 0-9 eri kriteerien mukaan. Esimerkiksi alueet 1-3 ovat sellaisia, joilla toimitusvarmuuskriteerien mukaan ei saa olla yli 6 tunnin katkoja. Nämä kuitenkin ovat kaapeloinnissa etusijalla, joten vierimetsänhoitoa ei näille alueille kannata suunnata. Tämä luokittelu ei kuitenkaan suoraan kerro tulevia suunnitelmia, joten yhteistyötä alueiden verkon suunnittelijoiden kanssa tarvitaan kohteiden lopullisessa määrittämisessä.

Vierimetsänhoidossa oleellista ovat myös saatavat hyödyt, joten kohdistamisessa on kannattavaa huomioida johtojen tehot, vikamäärät ja tietysti olennaisena osana metsäisyys. Vaikka kriteereillä voidaankin hyvin tarkkaan kohdistaa hoitotoimenpiteet pieniin osiin sähköverkkoa, ei kuitenkaan hoitoa ole kannattavaa tehdä hyvin pienissä osissa. Kohteita valitessa tuleekin siis pyrkiä valitsemaan mahdollisimman pitkiä yhtenäisiä osuuksia johtolähdöiltä, jotta vaikutuksia on mahdollista seurata ja myös työn toteutuksen kannalta on yhtenäiset osuudet ovat helpompia toteuttaa, kun ylimääräisiä siirtymiä on vähemmän. Eri kriteereillä saadaan manuaalisesti rajattua mahdollisia vierimetsänhoitokohteita melko tarkkaan. Yhtenä tärkeimpänä tehtävänä ennen viimeisiä valintoja kannattaa rajatut kohteet vielä tarkastaa lentokuvista. Näin voidaan varmistaa, että linjan varrella on sellaista puustoa, jolle hoidon toteuttaminen on kannattavaa.

Vierimetsänhoidon kohteiden valinta on hyvin oleellinen osa prosessia ja pääasiassa siihen on myös työssä perehdytty. Prosessin eri osa-alueita on osin käsitelty luvussa 5 ja projektien onnistumisen kannalta tulee myös itse toteutusvaiheeseen kiinnittää huomiota. Lupien ja valtakirjojen hankinta, resurssien varaamiset sekä puukauppa ovat myös kriittisiä prosessin kannalta, sillä ilman maanomistajan lupaa, resursseja tai puun ostajaa työn toteuttaminen on lähes mahdotonta. Nämä kuitenkin ovat osa mahdollisen palveluntuottajan osuutta, joten näiden kehittämiseen ei ole paneuduttu. Verkkoyhtiölle prosessissa suunnittelun ja palveluntuottajan valinnan lisäksi yksi oleellisimmista asioista mahdollisessa vierimetsänhoidossa on projektinvalvonta. Vierimetsänhoidon poiketessa runsaasti sähköverkkoyhtiön normaalista toiminnasta puhtaasti metsänhoidollisena toimenpiteenä on kannattavaa pohtia kuinka valvonta toteutetaan. Eli onko sähköverkon rakennuttamiseen paneutunut ihminen oikea henkilö valvomaan metsänhoidollista toimenpidettä vai tulisiko projektinvalvonnasta vastaavan henkilön olla myös metsäalan ammattilainen. Pienemmissä hoitoprojekteissa sähköverkon rakennuttaja on varmasti riittävä, mutta laajemmissa projekteissa jo resurssienkin puolesta on ulkopuolista valvontaa syytä harkita. Liitteessä 6 on esitetty prosessikaaviona edellä esitetyt kohteiden valintaprosessi ja koko vierimetsänhoitoprosessi Elenian toimintaan soveltuvana.

8.2 Raivausprosessin kehittäminen Elenialla

Raivausprosessin kehittämisessä pyrittiin erityisesti tarkastelemaan eri menetelmien vaikutuksia sekä niiden hyviä ja huonoja puolia. Tavoitteena oli pyrkiä tekemään suunnitelma siitä mitä menetelmiä ja millä alueilla niitä olisi jatkossa mahdollista hyödyntää sekä kuinka raivausten laatua voitaisiin jatkossa seurata paremmin. Luvussa 8.2.1 käydään läpi menetelmien soveltuvuutta eri osiin Elenian verkkoaluetta ja puolestaan luvussa 8.2.2 käsitellään keinoja, joilla raivausprosessin laadunhallintaa olisi mahdollista kehittää.

8.2.1 Raivausmenetelmät

Pääsääntöisesti raivaukset on Elenialla tehty metsurityönä, joten se on ollut muille menetelmille vertailukohtana. Muina vertailtavina menetelminä oli helikopterioksinta ja monitoimikoneraikaus. Keskeytystilastoja tarkastelemalla ei kuitenkaan raivausmenetelmien vaikutuksille löytynyt selkeitä eroja, joilla olisi mahdollista asettaa koneellisia raivausmenetelmiä paremmuusjärjestykseen. Laajempi otos, erityisesti monitoimikoneen kohdalla, olisi vaadittu, jotta tarkempia johtopäätöksiä olisi ollut mahdollista tehdä. Kuitenkin eri tietoja vertailemalla voidaan arvioida menetelmien soveltuvuutta erilaisiin kohteisiin. Tällöin uusia mahdollisia koneellisen raivauksen kohteita valittaessa, ne voidaan kohdistaa suoraan sellaisiin paikkoihin, joissa raivaukset hyödyttävät eniten.

Metsien ominaisuudet tulisi huomioida jatkossa paremmin suunnittelussa, varsinkin jos tarkoituksena on hyödyntää koneellisia raivauksia. Metsän korkeus vaikuttaa oksinnan nopeuteen ja työn jälkeen huomattavasti. Varsinkin, mikäli huomioidaan, että metsurityössä ulottuvuus on parhaimmillaan vain noin 13 metriin. Siksi pitkillä johtolähdöillä, joilla on runsaasti korkeaa metsää, tulisi helikopterioksinta toteuttaa ainakin kerran. Moota ei tähän voi suositella, sillä korkeissa metsissä voi ulottuvuudet tulla myös motolla vastaan.

Tämän jälkeen oksintaa ei käytännössä tarvitse ulottaa enää korkeimpiin oksiin, vaan puun kasvun myötä voidaan keskittyä alimpiin oksiin. Tällaista kertaluonteista heko-oksintaa tulisi työssä kerättyjen tietojen perusteella tehdä erityisesti Itä-Hämeen korkeassa puustossa. Vaikka kuvan 26 perusteella Keski-Suomessa ja Itä-Hämeessä molemmissa on runsaasti korkeaa puustoa, niin viidellä kunnalla Elenian verkkoalueella yli 16 metriä korkeassa puustossa kulkevan linjan osuus on yli 40 % kaikesta metsämaalla kulkevasta linjasta. Näistä viidestä kunnasta 4 on Itä-Hämeen alueella ja viides on aivan Itä-Hämeen kupeessa Pirkanmaan puolella.

Käytännön toimivuus, turvallisuus ja työn laatu ovat sellaisia tekijöitä eri menetelmiä vertailtaessa, että ne vaikuttavat valintakriteereinä huomattavasti. Metsurityö on lähtökohtaisesti käytännössä helpoin toteuttaa, sillä kävellen on mahdollista kulkea maastosta riippumatta ja välineet kulkevat helposti matkassa. Vain hieman haasteellisempaa

käytännön toimivuus on helikopterilla, jolla pitää huomioida sopivat nousu- ja laskeutumispaikat ja sahan kiinnitykseen vaadittava tila. Suurimmat haasteet ovat kuitenkin motolla, jolla liikkuminen maastossa vaatii riittävän tilan ja joissakin tapauksissa maasto voi estää käytön. Liikkumatilan kohdalla turvallisuus on kuitenkin määräävä tekijä, sillä riittävät turvaetäisyydet sähköverkkoon tulee säilyä koko työskentelyn ajan. Helikopterilla turvallisuushaasteet ovat erityyppisiä ja niihin on helpompi vaikuttaa. Esimerkiksi lentäjän riittävällä koulutuksella ja kokemuksella voidaan haasteellisiinkin tilanteisiin varautua paremmin. Metsurityönä tehdyt raivaukset ovat ehdottomasti turvallisin vaihtoehto, mikäli pyrkimyksenä on välttää sähkölinjan vahingoittuminen. Henkilöturvallisuutta ajatellen metsurityönä tehtävät raivaukset ovat hyvin raskaita, jolloin tapaturmilta ei voida välttyä ja pienet loukkaantumiset kuten kaatumiset ja kompastumiset eivät ole harvinaisia.

Edellä esitettyjen asioiden nojalla helikopterioksintaa tulisi hyödyntää erityisesti Itä-Hämeen alueella ja samalla tarkastella vielä tarkemmin tämän tuloksia. Tällöin voidaan saada vertailukelpoista tietoa oksinnan todellisista vaikutuksista alueella, jolle se ominaisuuksiensa puolesta soveltuu parhaiten. Monitoimikoneelle ei vastaavaa kannata toteuttaa, sillä ominaisuuksiltaan se soveltuu huomattavasti paremmin vierimetsän- ja vianhoitoon, jossa käsitellään kokonaisia puunrunkoja.

8.2.2 Raivausprosessin laadunhallinta

Laatu nousi esiin raivausten osalta työtä tehdessä moneltakin taholta ja yleinen huomio asiasta on, että töiden toteutumista ja laatua ei resurssien puitteissa ehditä seuraamaan tarpeeksi. Raivausten osalta käytettäviä menetelmiä tärkeämpää onkin jatkossa kiinnittää huomioita toteutuneiden raivausten seurantaan. Koska nykyisillä resursseilla ei pistokokeina tehtyjä tarkastuksia ehditä tehdä riittävästi, tulisi joko resursseja lisätä tai ottaa käyttöön vähemmän kuormittava tarkastusmalli. Työtä tehdessä löytyi useita eri vaihtoehtoja, jolla tarkastusta voidaan kehittää. Näistä ei kuitenkaan yksittäistä suoraa ratkaisua löytynyt vaan mahdollisia vaihtoehtoja, joita omien tarpeiden mukaan voidaan kehittää eteenpäin.

Yksinkertaisin ja osin käytössä olevakin keino on lentotarkastuskuvat. Niistä kuitenkin pääasiassa määritetään raivaustarvetta. Mikäli raivaustarpeen määrittelyssä siirrytään toiseen tapaan tai mahdollisesti takaisin aikaperusteiseen kiertoön, on järkevää rytmittää lennot niin, että niistä voidaan todentaa raivausten työnjälki. Toinen ylimääräinen lentokierros on myös yksi mahdollisuus, mutta todellisuudessa se ei ole järkevä vaihtoehto kustannuksien eikä ympäristön kannalta. Satelliittikuvien hyödyntämiseen liittyvien projektien tuloksiin kannattaa jatkossa kiinnittää huomioita, sillä näitä voitaisiin hyödyntää toisen lentokierroksen sijaan. Kuten nyt jo työssä huomattiin, on muutakin ilma-kuvausmateriaalia saatavilla ja sitä on jo mahdollista hyödyntää suurjännitteisen jakeluverkon osalta luvussa 6.1.4 mukaisesti. Oleellinen asia on myös laadunhallinnan kannalta kuinka raivaukset suunnitellaan. Raivausten suunnittelussa on tapahtunut muutoksia

viime vuosien aikana, suurimpana siirtyminen automaattiseen raivausanalyysiin, eikä näiden muutosten vaikutuksia ole vielä täysin todettu. Laadunhallinnan kannalta tulee-kin miettiä analyysin tuloksia, sillä mahdollisten yksittäisten pylväsvälien seuraaminen voi olla haasteellista.

Oman työn valvonta on ollut Elenialla vuoden 2015 aikana esillä T3-raportoinnin käyttöönoton takia. Tämän on tarkoitus tulla myös myöhemmin käyttöön raivauksissa, jolloin raivauksien laadusta saadaan myös selkeästi tilastoitua materiaalia. Erityisesti, jos raivausurakoitsijaa itseään velvoitetaan raivausmäärästä riippuen tekemään vähimmäismäärä tarkastuksia ja samalla jopa mahdollisesti liittämään kuvaa tehdystä työstä. Vastaavan tapainen oman työn tarkastus olisi mahdollista toteuttaa myös toisella tavalla. GPS-seurannalla olisi mahdollista työtä tehdessä tai tarkastaessa osoittaa, että paikalla on käyty ja työ on tehty. Suoraan seuranta ei kerro työn laadusta, mutta tällä voidaan varmistaa ainakin työn toteutuminen eikä aiemmin luvussa 6.4 esitetyn kaltaisia ääritapauksia jää havaitsematta. Tämän kaltainen idea nousi esiin haastatteluita tehdessä ja vastaava idea oli jo aiemmin kirjattu kehityskohteeksi Elenialla raivauksiin liittyen. Tähän tulisikin jatkossa panostaa, erityisesti tapauksissa, joissa urakoitsijalla on käytössään vielä erillinen aliurakoitsija.

Asiakastiedotuksen tavoitettavuuden parantaminen on raivausprosessissa yksi haasteellisimmista kehityskohteista, sillä asiakkailla on hyvin erilaiset tarpeet ja näkemykset siitä mikä on riittävää tiedotusta. Kuitenkin nykyaikana sanomalehdessä ilmoittaminen ei ole paras tapa tavoittaa kaikkia maanomistajia. Erityisesti nyt, kun metsänomistajat enenevässä määrin asuvat suurissa kaupunki keskittymissä eikä aivan oman metsänsä vieressä. Yhtenä kehityssuuntana tiedotuksen parantamisessa voisi olla häiriötiedotteiden kaltainen viestipalvelu. Tällöin ne, jotka haluavat saada raivauksesta tiedon sähköisesti voisivat palvelun tilata. Jotta palvelu säilyisi ajantasaisena, tulisi tiedon välittämisen olla myös raivausurakoitsijalle mahdollisimman yksinkertaista. Tämä käytännössä tarkoittaisi, että urakoitsijalla tulisi olla mahdollisuus muutamassa minuutissa saada tieto järjestelmissä eteenpäin esimerkiksi seuraavan kuukauden aikana toteutettavista raivauksista. Näin palvelu olisi melko ajantasainen, sillä nopeampaa päivitystahtia ei kannattaisi raivausurakoitsijalta oman työn oheen vaatia.

9. YHTEENVETO

Tässä diplomityössä pyrittiin tarkastelemaan sähköverkon kunnossapidon toimenpiteistä raivauksia, vierimetsänhoitoa ja lentotarkastuksia, jotta näiden suunnittelua ja hyödyntämistä voidaan kehittää. Tavoitteena oli arvioida eri raivausmenetelmiä, löytää soveltuva toimintatapa vierimetsänhoidon suunnitteluun ja toteutukseen Elenialla sekä tarkastella eri ilma- ja lentokuvausmenetelmien hyödyntämismahdollisuuksia raivausten suunnittelussa ja seurannassa. Työ on aihepiiriltään hyvin laaja ja sisältö painottuikin työn edetessä vierimetsänhoitoon ja raivauksiin lentotarkastusten jäädessä pienempään rooliin.

Työn tärkeimpänä osa-alueena voidaan pitää vierimetsänhoitoon liittyvää aineistoa, jotka toimenpiteen tuoreuden takia ovat hyvin ajankohtaisia. Koottua tietoa aiheesta onkin siis vielä hyvin rajallisesti, joten vierimetsänhoitoa tehneiden verkkoyhtiöiden haastattelut olivat tietojen keräämisessä ensiarvoisen tärkeitä. Samoin kuin vierimetsänhoidon edistämiseksi tehtyjen projektien tulokset olivat hyvin oleellisia, sillä näissä on tuotu hyvin esiin metsänhoidolliset näkökulmat sekä metsänomistajien huomioiminen. Näitä asioita tarkasteltiin sähköverkkoyhtiön näkökulmasta ja työn tärkeimpänä tuloksena voidaankin pitää Elenian vierimetsänhoidon suunnitteluun luotua alueellista prioriteettia, jonka mukaisesti vierimetsänhoitoa on myös lähdetty suunnittelemaan.

Sähköverkon raivausten osalta työn tulokset eivät täysin täytä ennalta asetettuja tavoitteita. Menetelmiä onnistuttiin työssä arvioimaan joiltakin osin, mutta osittain lähtötietojen pienen määrän takia tarkastelut jäivät suunniteltua suppeammiksi. Hankaluudet lähtötietojen kanssa kuitenkin nosti esiin asian, joka tulisi kaikissa pilottihankkeissa ottaa jatkossa huomioon. Pilotin toteutuksen jälkeiseen vaikutusten seurantaan tulisi panostaa sekä myös siihen, että pilotille löytyy soveltuva vertailukohde. Raivaustarkasteluissa haasteelliseksi arvioinnin teki se, että helikopteriraivauksen ja muiden alueen johtolähtöjen raivauksen välillä saattoi olla useampia vuosia. Raivausten arvioinnissa saatiin kuitenkin tärkeää tietoa koneellisten raivausten kohdistamisesta ja eduista. Tärkeää onkin jatkossa huomioida ulottuvuustekijät, joiden takia helikopteriksi tulisi hyödyntää korkeissa puustoissa, jollaista sijaitsee esimerkiksi Itä-Hämeessä.

Vierimetsänhoidon todellisista vaikutuksista on vielä hyvin vähän tietoa, sillä toiminta on aloitettu laajemmin vasta muutaman vuoden sisällä. Siksi tämä olisikin luonteva jatkotutkimuksen aihe muutaman vuoden päähen, kun ensimmäisien vuosien vaikutuksia on mahdollista tarkastella esimerkiksi vikatilastoista. Tällainen tutkimus on myös kannattavaa, sillä toimitusvarmuuskannustin tulee näillä näkymin pysymään lähes samanaikaisena seuraavat kaksi valvontajaksoa eli vuoteen 2023 saakka.

Työn perustuessa hyvin vahvasti Elenian verkkoalueen tietoihin, eivät tulokset ole suoraan hyödynnettävissä muissa verkkoyhtiöissä. Vierimetsänhoidon ollessa kuitenkin hyvin ajankohtainen ja uusi aihe Suomessa, on aiheesta kerätyllä tiedolla riskeistä ja eri yhtiöiden käytännöistä varmasti käyttöä myös muissa yhteyksissä. Erityisesti yhtiöillä, joilla ei mittavissa määrin ole vielä hoitoa tehty, antaa työ lähtökohdan vierimetsänhoidon suunnitteluun.

LÄHTEET

Caruna. (2014). Usein kysyttyjä kysymyksiä vierimetsänhoidosta. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 6.5.2015]. Saatavissa: <https://caruna-cms-prod.s3-eu-west-1.amazonaws.com/vierimetsa-kysymyksiä-vastauksia-19-05-14.pdf>

Caruna. (2015). Vierimetsänhoidolla luotettavampaa sähköä. [WWW]. [Viitattu 6.5.2015]. Saatavissa: <http://www.caruna.fi/vierimetsa>

Cortex Ventures Oy. (2013a). ACCA Automaattinen Sähköverkon Raivausanalyysi – Palvelumäärittely v1.0. Sähkö tutkimuspoolin julkaisu. Saatavissa: <http://energia.fi/julkaisut/accaautomaattinen-sahkoverkon-raivausanalyysiloppuraportit2013>

Cortex Ventures Oy. (2013b). ACCA Automaattinen Sähköverkon Raivausanalyysi – Menetelmäkuvaus v1.0. Sähkö tutkimuspoolin julkaisu. Saatavissa: <http://energia.fi/julkaisut/accaautomaattinen-sahkoverkon-raivausanalyysiloppuraportit2013>

Elenia. (2014a). Elenia sai laatusertifikaatin tunnustuksena sähköverkkopalvelusta. [WWW]. [Viitattu 2.3.2015]. Saatavissa: <http://www.elenia.com/fi/content/elenia-sai-laatusertifikaatin-tunnustuksena-s%C3%A4hk%C3%B6verkkopalvelusta>

Elenia. (2014b). Elenia Oy – Vierimetsänhoito 2014. Elenia Oy. Yhtiön sisäinen työohjeistus. 3 s.

Elenia. (2014c). Kunnossapitostrategia ja –ohjelma. Elenia Oy. Yhtiön sisäinen menettelyohje. 10 s.

Elenia. (2014d). Johtoalueiden raivausohje. Elenia Oy. Julkinen ohjeistus. 7 s.

Elenia. (2014e). Johtoalueiden raivausohjeliite. Elenia Oy. Julkinen ohjeistus. 6 s.

Elenia. (2014f). Raivausten laatukriteerit. Elenia Oy. Julkaisematon ohjeistus. 1 s.

Elenia. (2015). Elenia Säävarman tarina. [WWW]. [Viitattu 15.5.2015]. Saatavissa: http://www.elenia.fi/sahko/saavarma_tarina

Elovaara, J. & Haarla, L. (2011a). Sähköverkot I – Järjestelmätekniikka ja sähköverkon laskenta. Tallinna, Otatieto. 520 s

Elovaara, J. & Haarla, L. (2011b). Sähköverkot II – Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Tallinna, Otatieto. 550 s.

Energiamarkkinavirasto. (2013). Liite 1 – Valvontamenetelmät sähkön jakeluverkkotoiminnan ja suurjännitteisen jakeluverkkotoiminnan hinnoittelun kohtuullisuuden arvioimiseksi 1.1.2012 alkavalla ja 31.12.2015 päättyvällä kolmannella valvontajaksolla. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 6.2.2015]. Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/vahvistuspaatosasiakirjat-2012-2015>

Energiateollisuus, MTK, SLC. (2008). Johtoalueiden vierimetsien hoito. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 6.2.2015]. Saatavissa: <http://energia.fi/sahkomarkkinat/sahkoverkko/maankaytto>

Energiateollisuus. (2014a). Sähkön keskeytystilasto 2013. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 9.2.2015]. Saatavissa: <http://energia.fi/julkaisut/s-hk-n-keskeytystilasto-2013>

Energiateollisuus. (2014b). Johtoalueen käyttöoikeussopimus 2014 yhteinen malli ilma-johdot. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 12.3.2015]. Saatavissa: <http://energia.fi/sahkomarkkinat/sahkoverkko/maankaytto>

Energiateollisuus. (2015a). Suurjännitelaitteistojen sähkötyöturvallisuus 2015. 5. Painos. Rauma, Kirjapaino Laine Direct Oy. 64s.

Energiateollisuus. (2015b). Keskeytystilasto 2014. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 27.8.2015]. Saatavissa: http://energia.fi/sites/default/files/keskeytystilasto_2014.pdf

Energiavirasto. (2014). Toimitusvarmuuskannustin – Muutos sähkönjakeluverkon haltijoiden valvontamenetelmiin 1.1.2014 alkaen. [WWW]. [Viitattu 21.1.2015]. Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/-/toimitusvarmuuskannustin-muutos-sahkonjakeluverkon-haltijoiden-valvontamenetelmiin-1-1-2014-alka-1>

Energiavirasto. (2015a). 1. Suuntaviivat – 17.2.2015. Sähkön jakeluverkkotoiminta ja Sähkön suurjännitteinen jakeluverkkotoiminta. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 13.4.2015]. Saatavissa: <http://www.energiavirasto.fi/-/lausuntopyynto-1-suuntaviivoista-valvontamenetelmiksi-2016-2023>

Energiavirasto. (2015b). 2. Suuntaviivat – 30.6.2015. Sähkön jakeluverkkotoiminta ja Sähkön suurjännitteinen jakeluverkkotoiminta. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 13.7.2015]. Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/fi/web/guest/-/lausuntopyynto-2-suuntaviivoista-valvontamenetelmiksi-2016-2023>

ESA. (2015). SharperSat - Maintenance and recovery of high voltage electricity transport system. [WWW]. [Viitattu 11.6.2015]. Saatavissa: <https://artes-apps.esa.int/projects/sharpersat>

Fingrid. (2012a). Naapurina voimajohto. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 12.3.2015]. Saatavissa:

http://www.fingrid.fi/fi/verkkohankkeet/voimajohtoliitteet/Naapurina_voimajohto2012.pdf

Fingrid. (2012b). Raivaajan käsikirja. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 22.6.2016]. Saatavissa:

http://www.fingrid.fi/fi/verkkohankkeet/voimajohtoliitteet/Raivaajan_kasikirja.pdf

Gregow, H. (2013). Impacts of strong winds, heavy snow loads and soil frost conditions on the risks to forests in Northern Europe. Academic Dissertation. University of Eastern Finland. Finnish Meteorological Institute Contributions No. 94. 178 p. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/39615>

Hassinen, A. (2013). UAV-lennokit – Kokemuksia UAV-laitteista. [Verkkodokumentti]. [Viitattu: 27.8.2015]. Saatavissa: <http://mekri.uef.fi/uav/UAV-lennokit.pdf>

Helikopterikeskus. (2015). Kuva – Lumikuorma Elenian verkkoalueella tammikuussa 2015.

Hänninen, H., Karppinen, H. & Leppänen, J. (2011). Suomalainen metsänomistaja 2010. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 17.2.2015]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp208.pdf>

Ilmatieteenlaitos. (2012). Ilmastomuutos vaikuttaa sään ääri-ilmiöihin myös Suomessa. [WWW]. [Viitattu 7.4.2015]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/512877>

Ilmatieteenlaitos. (2015). Tykky eli tykkylumi. [WWW]. [Viitattu 1.7.2015]. Saatavilla: <http://ilmatieteenlaitos.fi/tykky-eli-tykkylumi>

John Deere. (2015). Tuotevertailu – harvesterit. [WWW]. [Viitattu 2.6.2015]. Saatavissa: https://www.deere.fi/fi_FI/industry/forestry/our_offer/comparisons/comparison_harvesters.page?

Järventausta, P. (2014). DEE-23010 Sähköverkkotekniikka. Sähkötekniikan laitos, Tampereen teknillinen yliopisto. Kurssimateriaalit. [WWW]. [Viitattu 3.2.2015]. Rajoitetusti saatavissa: http://webhotel2.tut.fi/units/set/opetus/kurssit/Materiaalisivut/DEE_23010/svt_3311_kalvoja.htm

Koskenlaakso, L. (2015). Nyt nähdään puu metsältä. Rajapinta. 1/2015. [Viitattu 31.7.2015]. Saatavissa: <http://www.tut.fi/rajapinta/artikkelit/2015/1/nyt-nahdaan-puu-metsalta>

KTMp 517/1996. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen käyttöön- otosta ja käytöstä.

KTMa 335/2004. Kauppa- ja teollisuusministeriön asetus sähkölaitteistojen käyttöönotosta ja käytöstä annetun kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksen muuttamisesta.

Kymen Linjanraivaus. (2015). Linjankarsinta. [WWW]. [Viitattu 26.6.2015]. Saatavissa: <http://www.kymenlinjaraivaus.fi/page16.html>

L 14.6.1996/410. Sähköturvallisuuslaki.

L 12.12.1996/1093. Metsälaki.

L 9.8.2013/588. Sähkömarkkinalaki.

L 10.11.2014/864. Ilmailulaki.

Lakervi, E. & Holmes, E.J. (1995). Electricity distribution network design. 2. Painos. Lontoo, Peter Peregrinus. 325 s.

Lakervi, E. & Partanen, J. (2009). Sähkönjakelutekniikka. 2. Painos. Helsinki, Otatieto. 295 s.

Maaranto, K. (2014). Puun korkeusmalli tuulituhojen ennakkoinnissa. PowerPoint-esitys. [Viitattu 9.4.2015]. Saatavissa: <http://www.metsakeskus.fi/paattynyt-tuuli-ja-lumituhojen-ennakointi-metsaalueilla#>

Maaranto, K. & Saari, E. (2014). Toimintamalli tuuli- ja lumituhoriskikohteiden kartoittamiseksi laserkeilausaineistoa ja muuta metsävaratietoa hyödyntämällä. Sähköjohtojen ja rautateiden vierimetsien riskipuuanalyysin tekeminen ja tilakohtaisten riskikohdekarttojen tuottaminen Arcmap10.2-ohjelmalla. Ohje. 81 s.

Maanmittauslaitos. (2015). Maanmittauslaitoksen ortokuva. [WWW]. [Viitattu 23.7.2015]. Saatavissa: <http://www.maanmittauslaitos.fi/digituotteet/maanmittauslaitoksen-ortokuva>

Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK ry. (2015). Sähkölínjojen lunastustositukset ja linjoista maksettavat korvaukset. Opas. 24 s.

Mertechev, R. (2011). Linjanraivaussahan konstruktio – 3D-mallinnus ja lujuuslaskenta. Opinnäytetyö. Tampere. Tampereen ammattikorkeakoulu, Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. 59 s. Saatavissa: <http://publications.theseus.fi/handle/10024/26865>

Metla. (2005). MetINFO – Metsien terveys. LUMI. [WWW]. [Viitattu 30.6.2015]. Saatavissa: http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/lajit_kansi/ablumi-n.htm

Metla. (2014). Metsätilastollinen vuosikirja 2014. Tampere, Tammerprint Oy. 426 s.

Metsäkeskus. (2014a). Metsäkurssi - metsäasioiden sähköinen oppimateriaali. [WWW]. [Viitattu 2.2.2015]. Saatavissa: <http://www.pirkanmaanmetsat.fi/metsakurssi.fi/>

Metsäkeskus. (2014b). Metsänhoito ja hakkuut. [WWW]. [Viitattu 3.3.2015]. Saatavissa: <http://www.metsakeskus.fi/metsanhoito-ja-hakkuut>

Metsälehti. (2013). Uuden metsänomistajan tietopaketti. [WWW]. [Viitattu 3.3.2015]. Saatavissa: <http://www.metsalehti.fi/Kirjat/Uuden-metsanomistajan-kirja/>

NordSafety Oy. (2014). T3-raportointi käyttöön Elenia Oy:ssä. [WWW]. [Viitattu 28.7.2015]. Saatavissa: <http://www.t3-raportointi.fi/uutiset/t3-raportointi-kayttoon-elenia-oyssa/>

Nousiainen, K. (2011). Sähkövoimajärjestelmän perusteet. Opetusmoniste. Tampere, TTY. 178 s.

Onnettomuustutkintakeskus. (2008). Lento-onnettomuus Kangasniemellä 8.11.2007. Tutkintaselostus. Helsinki. 27 s. Saatavissa: http://www.turvallisuustutkinta.fi/material/attachments/otkes/tutkintaselostukset/sv/ilmailuonnettomuuksientutkinta/2007/c82007l_tutkintaselostus/c82007l_tutkintaselostus.pdf

Onnettomuustutkintakeskus. (2011). Helikopterionnettomuus Pyhäselässä 5.2.2009. Tutkintaselostus. Helsinki. 23 s. Saatavissa: http://www.turvallisuustutkinta.fi/material/attachments/otkes/tutkintaselostukset/fi/ilmailuonnettomuuksientutkinta/2009/c12009l_tutkintaselostus/c12009l_tutkintaselostus.pdf

Onnettomuustutkintakeskus. (2013a). Helikopterin lento-onnettomuus sahauslennolla Juuassa 16.5.2012. Tutkintaselostus. Helsinki. 32 s. Saatavissa: http://www.turvallisuustutkinta.fi/material/attachments/otkes/tutkintaselostukset/fi/ilmailuonnettomuuksientutkinta/2012/8uoNXsc2Z/L2012-07_Tutkintaselostus.pdf

Onnettomuustutkintakeskus. (2013b). Helikopterin lento-onnettomuus sahauslennolla Tampereen Teiskossa 10.1.2013. Tutkintaselostus. Helsinki. 20 s. Saatavissa: http://turvallisuustutkinta.fi/material/attachments/otkes/tutkintaselostukset/fi/ilmailuonnettomuuksientutkinta/2013/l2013-01_tutkintaselostus/l2013-01_tutkintaselostus.pdf

Paananen, H. & Rajala, J. (2013). Distribution network aerial photographing benefits in practice. 22nd International Conference on Electricity Distribution (CIRED 2013), Stockholm, Sweden, June 10-13, 2013. E-ISBN: 978-1-84919-732-8. (DOI: 10.1049/cp.2013.0948)

Paikkatietoikkuna. (2015). Karttaikkuna. [WWW]. [Viitattu 11.6.2015]. Saatavissa: <http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/kartta>

Pixabay. (2015). Ilmaiset kuvat, CC0. [WWW]. [Viitattu 24.7.2015]. Saatavissa: <https://pixabay.com/fi/>

Peltola, H. (2010). Metsien tuuli- ja lumituhoriskien hallinta ja metsänhoidon sopeuttamistarve muuttuvassa ilmastossa – Hankkeen loppuraportti. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 4.8.2015]. Saatavissa: http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/ilmastonmuutos_energia/ilmanstonmuutos_sopeutminen/sopeutumistutkimusohjelma/sopeutumistutkimusohjelma_hankkeet/metsat_tuuli_lumituhoriski.html

PKS. (2015). Uuden vierimetsänhoitomallin käyttö laajenee koko maakuntaan. [WWW]. [Viitattu 6.5.2015]. Saatavissa: http://www.pks.fi/uutisarkisto/-/asset_publisher/Jb8ka0tVOxpy/content/uuden-vierimetsanhoitomallin-kaytto-laajenee-koko-maakuntaan;jsessionid=81FD73DE72E5106B11CAF5DE683C2939

Ponsse. (2015). Tuote-esitteet – Harvesterit. [WWW]. [Viitattu 2.6.2015]. Saatavissa: <http://www.ponsse.com/fi/media-arkisto/esitteet/tuote-esitteet/harvesterit>

Raiv.O Team. (2015). Oksinta. [WWW]. [Viitattu 29.5.2015]. Saatavissa: <http://www.raivoteam.fi/oksinta/>

Ruokanen, I. (2015). Tuuli- ja lumituhojen ennakointi metsäalueilla energiahuollon ja kulkuvarmuuden turvaamiseksi Pohjois-Pohjanmaalla. Suomen metsäkeskus, Julkiset palvelut, Pohjois-Pohjanmaa. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 4.2.2015]. Saatavissa: <http://www.metsakeskus.fi/paattynyt-tuuli-ja-lumituhojen-ennakointi-metsaalueilla#>

Sener. (1992). Verkostosuositus RJ 21:92 – Ilmajohtojen johtoalueet.

Sener. (1997). Verkostosuositus TA 1:97 – Verkonhaltijan toimesta tehtävät sekä omat käyttöönottotarkastukset.

Sharper Shape. (2015). Satellites and laser UAVs working together – SHARPERSAT feasibility study completed with positive results. [WWW]. [Viitattu 17.8.2015]. Saatavissa: <http://sharpershape.com/satellites-and-laser-uavs-working-together-sharpersat-feasibility-study-completed-with-positive-results/>

Sharper Shape, Next Eagle & Reneco. (2014). Lentorobottien pilotointi sähköverkon tarkastuksissa. Sähkö tutkimuspoolin julkaisu. [Viitattu 7.1.2015]. Saatavissa: <http://energia.fi/julkaisut/lentorobottien-pilotointi-sahkoverkon-tarkastuksissa-2014sharpershape>

Suomen Metsäyhdistys. (2015). Sanasto – Monitoimikone, moto (harvester). [WWW]. [Viitattu 19.5.2015]. Saatavissa: <http://www.smy.fi/sanasto/monitoimikone-moto-harvester/>

Tapio. (2013a). Keskijännitteisten sähkölinjojen vierimetsien määrä ja ominaisuudet. Sähkölinjojen vierimetsä – projekti. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 2.2.2015]. Saatavissa: <http://www.tapio.fi/projektin-raportit>

Tapio. (2013b). Keskijännitteisten ilmajohtojen toimintavarmuuden parantaminen – Projektin tausta, tarkoitus ja tavoitteet. Sähkölinjojen vierimetsä – projekti. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 2.2.2015]. Saatavissa: <http://www.tapio.fi/projektin-raportit>

Tapio. (2013c). Keskijännitteisten ilmajohtolinjan vierimetsän hoitoprojektin suunnittelu ja toteutus. Sähkölinjojen vierimetsä – projekti. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 2.2.2015]. Saatavissa: <http://www.tapio.fi/projektin-raportit>

Tapio. (2013d). Puuston aiheuttamat riskit sähkön jakelun toimintavarmuudelle ja metsänhoidon mahdollisuudet riskien vähentämiseen. Sähkölinjojen vierimetsä - projekti. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 2.2.2015]. Saatavissa: <http://www.tapio.fi/projektin-raportit>

Tapio. (2013e). Keskijännitteisten ilmajohtojen toimintavarmuuden parantaminen – Osaraporttien tiivistelmä. Sähkölinjojen vierimetsät – projekti. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 2.2.2015]. Saatavissa: <http://www.tapio.fi/projektin-raportit>

Tapio. (2013f). Vierimetsän erikoishakkuusta johtuvat tulonmenetykset. Sähkölinjojen vierimetsä – projekti. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 2.2.2015]. Saatavissa: <http://www.tapio.fi/projektin-raportit>

Tapio. (2015). Sähkölinjojen vierimetsät. [WWW]. [Viitattu 21.1.2015]. Saatavissa: <http://www.tapio.fi/sahkolinjojen-vierimetsat>

Tervo, J. (2014). Lentorobotit sähköverkon tarkastuksissa. Sähkötutkimuspoolin julkaisu. [Viitattu 7.1.2015]. Saatavissa: <http://energia.fi/julkaisut/lentorobotit-s-hk-verkon-tarkastuksissa2014>

Trafi – Liikenteen turvallisuusvirasto. (2015a). Miehittämättömän ilma-aluksen ja lennokin lennättäminen - Määräysluonnos. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 10.6.2015]. Saatavissa: http://www.trafi.fi/tietoa_trafista/ajankohtaista/3358/lausuntopyynto_miehittamattoman_ilma-aluksen_ja_lennokin_lennattamista_koskevasta_maaraysluonnoksesta

Trafi – Liikenteen turvallisuusvirasto. (2015b). Ilmatila. [WWW]. [Viitattu 23.7.2015]. Saatavissa: http://www.trafi.fi/ilmailu/lennonvarmistus_ja_ilmatila/ilmatila

TTK – Työturvallisuuskeskus. (2013). Työsuojelu sähköaloilla. Verkostotyöt. Työturvallisuusohje. [Viitattu 15.6.2015]. Saatavissa: http://www.tyoturva.fi/files/2966/STO3_Verkostotyot.pdf

Verho, P. (2014). DEE-23040 Sähköverkko-omaisuuden hallinta. Sähkötekniikan laitos, Tampereen teknillinen yliopisto. Kurssimateriaalit. [WWW]. [Viitattu 26.1.2015]. Rajoitetusti saatavissa: http://webhotel2.tut.fi/units/set/opetus/kurssit/Materiaalisivut/DEE_23040/DEE_23040materiaali.htm

Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen P. (toim.) (2014). Metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 17.2.2014]. Saatavissa: <http://www.tapio.fi/metsanhoitosuosituks>

Haastattelut

Fräntilä, Tuomas. 2015. Projektivastaava, Elenia Oy. Puhelinhaastattelu 13.3.2015

Heikkinen, Jussi-Pekka. 2015. Yrittäjä, Suomen Linjanraivaus Oy. Sähköpostihaastattelu 18.2.2015, 18.8.2015.

Koistinen, Mikko. 2015. Metsäpalveluesimies, metsänhoidon tuotevastaava, OTSO Metsäpalvelut, Pohjois-Pohjanmaa – Kainuu. Puhelinhaastattelu 26.5.2015.

Laakso, Jukka. 2015. Projektivastaava, Elenia Oy. Tampere. Haastattelu 12.3.2015

Lehtomäki, Elina. 2015. Head of Network Planning, Caruna Oy. Puhelinhaastattelu 5.5.2015.

Miettinen, Pekka. 2015. Verkostopäällikkö, Savon Voima Verkko Oy. Sähköpostihaastattelu 12.6.2015

Salovaara, Pauliina. 2015. Kunnossapitoinsinööri, Elenia Oy. Tampere. Haastattelu 9.3.2015 ja keskusteluja 5.1.–31.8.2015.

Soanjärvi, Timo. 2015. Projektivastaava, Elenia Oy. Tampere. Haastattelu 10.3.2015

Tervo, Markku. 2015. Aluepäällikkö, Loiste Sähköverkko Oy. Puhelinhaastattelu 27.5.2015.

Tuovinen, Arto. 2015. Maankäyttövastaava, Pohjois-Karjalan Sähkö Oy. Sähköpostihaastattelu 12.5.2015.

Valtonen, Jari. 2015. Toimitusjohtaja, Pirkanmaan Verkstotalvelu Oy. Akaa. Sähköpostihaastattelu 27.1.2015 ja Haastattelu 21.4.2015.

LIITE 1: TOTEUTUNEEN OIKAISTUN TULOKSEN LASKENTA- PERIAATE

<p>Liikevoitto (liiketappio)</p> <ul style="list-style-type: none"> + Liikevoittoon (liiketappioon) palautettavat kirjanpidon erät <ul style="list-style-type: none"> + Taseeseen kirjattujen palautuskelpoisten liittymismaksujen kertymän vuotuinen nettomuutos + Maksetut verkkovuokrat + Suunnitelman mukaiset poistot liikearvosta - Investointikannustin <ul style="list-style-type: none"> + Sähköverkon jälleenhankinta-arvosta lasketut tasapoistot - Suunnitelman mukaiset poistot sähköverkosta - Laatukannustin <ul style="list-style-type: none"> + $0,5 \times$ Keskeytyskustannusten vertailutaso - $0,5 \times$ Toteutuneet keskeytyskustannukset - Tehostamiskannustin <ul style="list-style-type: none"> + Kohtuulliset tehostamiskustannukset - Toteutuneet tehostamiskustannukset - Innovaatiokannustin <ul style="list-style-type: none"> + Tutkimus- ja kehitystoiminnan kohtuulliset kustannukset + Tuntimittauksen (enintään 63 A) kohtuulliset lisäkustannukset - Toimitusvarmuuskannustin <ul style="list-style-type: none"> + Ennenaikaisista korvausinvestoinneista aiheutuvat NKA-jäännösarvon alaskirjaukset + Uusien kunnossapito- ja varautumistoimenpiteiden kohtuulliset kustannukset
<p>= Oikaistu liikevoitto (liiketappio)</p> <ul style="list-style-type: none"> + Muut oikaisut <ul style="list-style-type: none"> - Verkkotoiminnan harjoittamisen turvaamiseksi tarvittavasta rahoitusomaisuudesta aiheutuvat kustannukset +/- Nettosuojauskulut
<p>= Tulos ennen veroja</p> <ul style="list-style-type: none"> - Yhteisöverovelvollisen verkonhaltijan laskennalliset yhteisöverot
<p>= Toteutunut oikaistu tulos</p>

(Energiamarkkinavirasto 2013)

LIITE 2: 110 KV:N ILMAKUVAT

Ensimmäisessä kuvassa raivaamaton 110 kV:n johtokatu hieman varjoisella osuudella. Kuva vuodelta 2011 ja raivaus kyseiselle osuudelle on toteutettu vuonna 2013. Toisessa kuvassa on myös raivaamaton 110 kV:n johtokatu, mutta kyseessä on täysin varjostumaton kohta. Tässä kuva on vuodelta 2014 (huom. kuvamateriaalin parantuminen kuvausvuosien edetessä).



Kolmannessa kuvassa on esitetty vuonna 2013 raivattu 110 kV:n johtokatu, joka on kuvattu vuonna 2014. (Paikkatietoikkuna 2015)



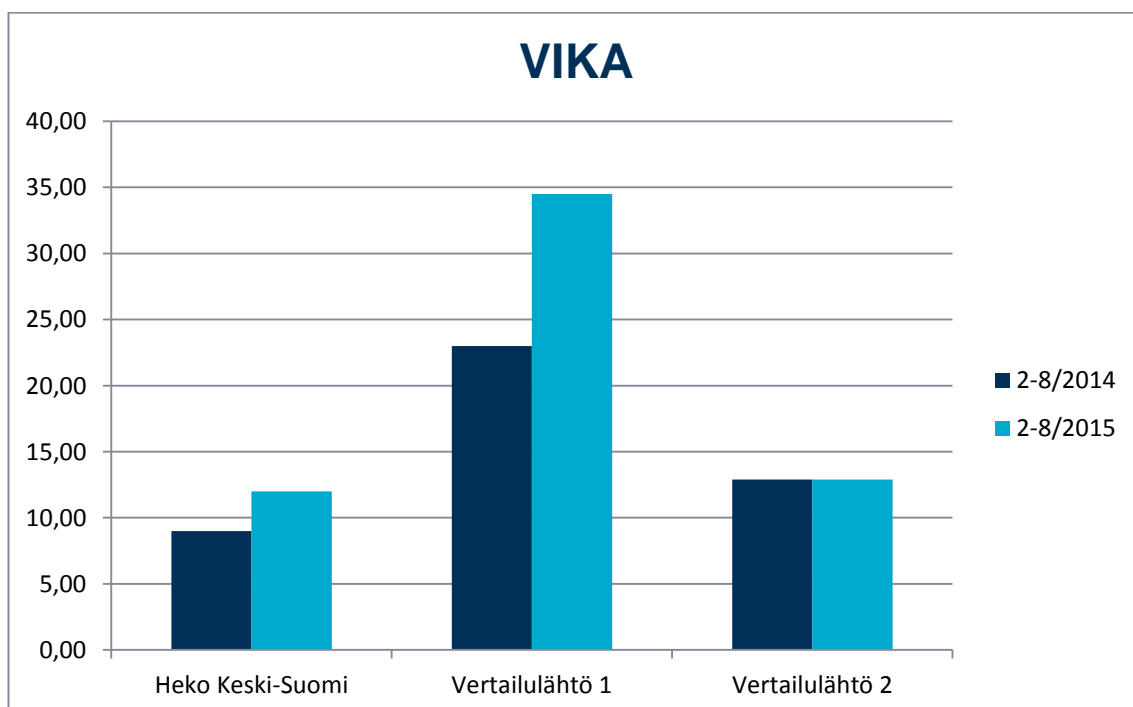
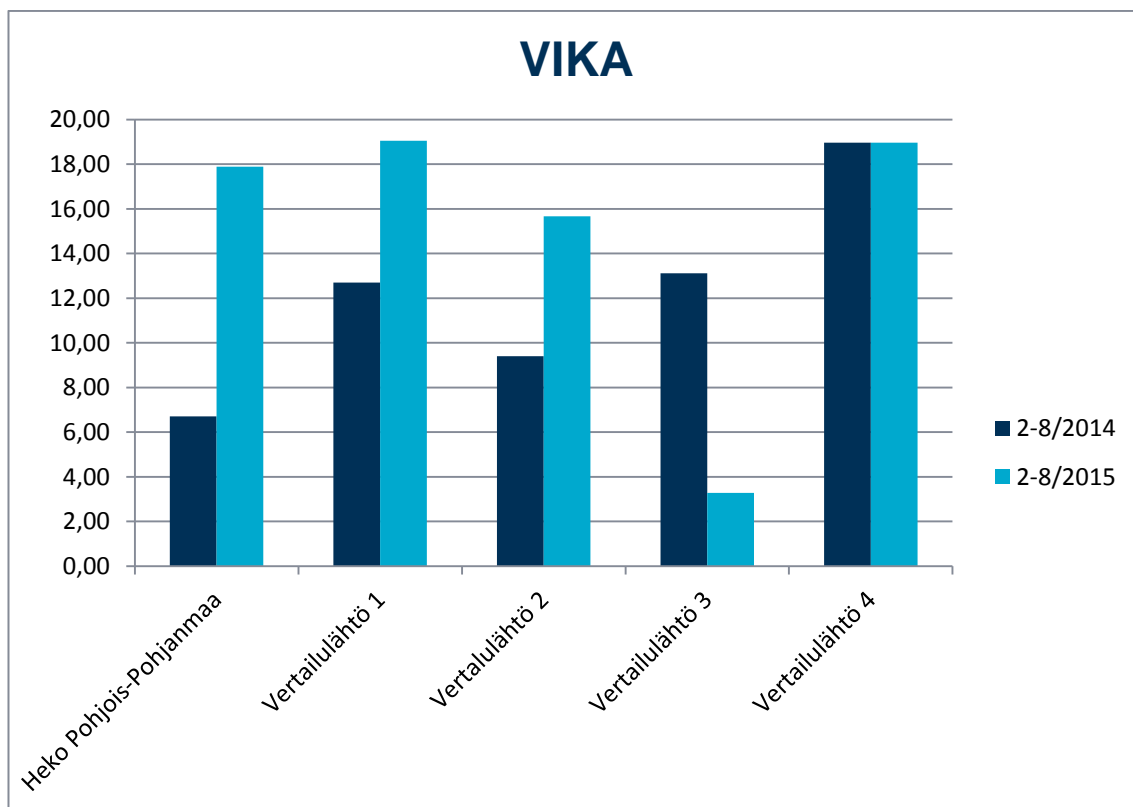
LIITE 3: VANHOJEN HELIKOPTERIOKSINTOJEN LISÄTARKASTELUT

Vanhojen helikopterioksintojen tarkastelut yhden vuoden ajanjaksoilla. Vastaava työn taulukon 2 kanssa, mutta eri ajanjaksolla.

	PJK	AJK	Vika
Heko Keski-Suomi 1	110,9	24,7	-1,4
Vertailulähtö 1	10,3	5,2	10,3
Vertailulähtö 2	5,0	8,8	2,5
Vertailulähtö 3	39,7	18,3	21,4
Vertailulähtö 4	65,3	28,6	18,4
Heko Keski-Suomi 2	31,7	20,1	33,9
Vertailulähtö 1	18,9	11,3	18,9
Vertailulähtö 2	21,6	2,2	2,2
Vertailulähtö 3	8,4	21,9	11,8
Vertailulähtö 4	10,4	10,4	23,4
Vertailulähtö 5	53,0	16,7	33,5
Vertailulähtö 6	0,0	0,0	33,6
Heko Itä-Häme 1	3,7	0,0	-6,5
Vertailulähtö 1	1,4	2,8	8,3
Vertailulähtö 2	-20,0	0,0	17,5
Heko Itä-Häme 2	15,9	-151,0	23,8
Vertailulähtö 1	9,4	7,0	-9,4
Heko Häme	-16,5	-18,3	-20,1
Vertailulähtö 1	6,4	2,1	-10,7
Vertailulähtö 2	0,0	4,8	-33,6
Vertailulähtö 3	26,1	1,7	-1,7
Heko Pirkanmaa 1	-4,9	-2,5	0,0
Vertailulähtö 1	4,4	2,9	-3,7
Vertailulähtö 2	52,2	0,0	3,6
Heko Pirkanmaa 2	23,1	17,6	22,0
Heko Pirkanmaa 3	19,0	11,2	22,3
Vertailulähtö 1	7,5	0,0	22,6

LIITE 4: UUSIEN HELIKOPTERIOKSINTOJEN LISÄTARKASTELUT

Vuoden 2015 aikana tehtyjen helikopterioksintojen vikatilastovertailut samalla tavalla kuin luvussa 7.1.2 esitetyissä kuvissa 22-25 pika- ja aikajälleenkytkentätilastoilla.



LIITE 5: METSURITYÖNÄ TEHTYJEN RAIVAUSTEN VIKATILASTOJEN LISÄTARKASTELUT

Taulukossa on esitetty kaikkien tarkasteluissa olleiden metsurityönä toteutettujen raivausten tilastot, josta työn taulukkoon 5 on otettu esimerkiksi kolmen sähköaseman tiedot.

	PJK	AJK	VIKA	Aikaa edel. Raivauksesta
Häme Sähköasema 1				
Johtolähtö 1	-12,4	20,6	4,1	n. 3 vuotta
Johtolähtö 2	-7,4	9,9	7,4	n. 3 vuotta
Johtolähtö 3	48,2	36,7	18,4	n. 3 vuotta
Johtolähtö 4	4,6	0,0	-7,0	n. 3 vuotta
Häme Sähköasema 2				
Johtolähtö 1	-49,1	0,0	-12,3	n. 3,5 vuotta
Johtolähtö 2	2,6	5,2	-15,6	n. 3 vuotta
Johtolähtö 3	-2,1	-16,7	-8,4	n. 3,5 vuotta
Itä-Häme Sähköasema 1				
Johtolähtö 1	-13,7	6,9	-10,3	n. 3 vuotta
Johtolähtö 2	-3,1	-12,5	-12,5	n. 3 vuotta
Pirkanmaa Sähköasema 1				
Johtolähtö 1	1,6	0,0	-6,3	?
Johtolähtö 2	-2,3	-14,1	-25,8	n. 4 vuotta
Johtolähtö 3	-25,9	-28,4	-28,4	n. 4 vuotta
Johtolähtö 4	-32,0	-24,0	-13,3	n. 3 vuotta
Johtolähtö 5	-43,7	-12,5	-25,0	n. 4,5 vuotta
Pirkanmaa Sähköasema 2				
Johtolähtö 1	7,2	-9,6	-7,2	n. 3 vuotta
Johtolähtö 2	-7,7	0,0	-10,2	n. 2,5 vuotta
Johtolähtö 3	-101,3	-16,2	-8,1	n. 3 vuotta
Johtolähtö 4	20,9	0,0	0,0	n. 2,5 vuotta
Johtolähtö 5	-13,3	8,8	4,4	n. 2,5 vuotta
Keski-Suomi Sähköasema 1				
Johtolähtö 1	0,0	17,6	8,8	n. 4 vuotta
Johtolähtö 2	-6,3	-18,9	-12,6	n. 4 vuotta
Johtolähtö 3	78,5	23,5	15,7	n. 5 vuotta
Keski-Suomi Sähköasema 2				
Johtolähtö 1	18,5	1,5	1,5	n. 2,5 vuotta
Johtolähtö 2	-6,6	4,4	8,8	n. 2,5 vuotta
Johtolähtö 3	13,5	4,5	-4,5	n. 4 vuotta
Etelä-Pohjanmaa Sähköasema 1				
Johtolähtö 1	2,9	1,5	-5,9	n. 2 vuotta
Pohjois-Pohjanmaa Sähköasema 1				
Johtolähtö 1	-60,4	-24,1	-24,1	n. 5 vuotta
Johtolähtö 2	-31,6	-15,8	0,0	n. 5 vuotta
Johtolähtö 3	-20,7	-12,9	0,0	n. 5 vuotta
Johtolähtö 4	-8,2	-8,2	-8,2	n. 5 vuotta
Johtolähtö 5	-8,7	46,5	8,7	n. 5 vuotta
Pohjois-Pohjanmaa Sähköasema 2				
Johtolähtö 1	-5,3	8,4	4,2	n. 4 vuotta
Johtolähtö 2	6,2	-12,5	-3,1	n. 4 vuotta
Johtolähtö 3	-17,9	12,8	7,7	n. 4 vuotta

LIITE 6: VIERIMETSÄNHOITOPROSESSI

Alla esitetyssä prosessikaaviossa on esitetty luvun 8.1 vierimetsänhoitokohteiden valinta. Seuraavan sivun prosessikaaviossa on esitetty tarkemmin muut prosessin vaiheet erityisesti verkkoyhtiön kannalta, sillä palveluntuottajan osalta prosessissa toteutuksessa osa asioista voi edetä yhtä aikaa. Prosessikaavioissa mustalla on esitetty verkkoyhtiön toimet ja vihreällä palveluntarjoajan.

